

Risto-Matti Remes

# KOULURAKENNUKSEN ÄÄNITEKNISET OMINAISUUDET

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Toukokuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 8.5.2012	
<b>Tekijä(t)</b> Risto-Matti Remes		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikan koulutusohjelma	
<b>Nimeke</b> Koulurakennuksen äänitekniset ominaisuudet			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Opinnäytetyön aiheena oli tutkia Mikkeliissä sijaitsevan koulurakennuksen äänitekniset ominaisuudet. Työntilaaajana toimi Mikkelin kaupunki, ja työnkohde oli Kalevankankaan koulu. Tavoitteena oli ohjeistaa Mikkelin kaupunkia tulevaisuuden rakennushankkeiden akustiikan suunnittelussa ja toteutuksessa. Koulurakennus aloitti toimintansa elokuussa 2011. Rakennuksessa peruskorjattiin rakennuksen vanha osa ja laajennettiin koulutiloja rakentamalla kaksi uutta lisäsiipeä.</p> <p>Koulurakennuksen ääniteknisillä ominaisuuksilla on iso merkitys oppilaiden ja opettajien viihtyvyyteen. Äänitekniikaltaan huonossa tilassa oppilaiden keskittymiskyky alenee ja oppiminen vaikeutuu. Akustiikan avulla on tarkoitus saada rakennus vastamaan käyttötarkoitusta parhaalla mahdollisella tavalla.</p> <p>Kalevankankaan koululla äänitekniisiä ominaisuuksia tutkittiin ilmanvaihdon äänitasojen, rakenteiden ääneneristävyyden ja jälkikaiunta-ajan avulla. Rakennukselle oli asetettu tavoitteeksi sisäilmastoluokituksen mukainen sisäilmastoluokka S2. Sisäilmastoluokka S2 velvoittaa rakennuksen ääniteknisiltä ominaisuuksilta standardin SFS 5907 "Rakennusten akustinen luokitus" mukaista akustista luokkaa C.</p> <p>Rakennus ei täyttänyt sille asetettuja äänitekniisiä tavoitteita. Ilmanvaihdon äänitasoja mitattiin yhdessätoista tilassa, ja vain neljä tilaa täytti tavoitteet. Rakenteiden ääneneristävyys mitattiin seitsemän tilan välillä, ja vain kaksi näistä vastasi vaateita. Jälkikaiunta-aika mitattiin viidessä tilassa, ja yksikään mitattu tila ei saavuttanut vaadittua jälkikaiunta-aikaa.</p> <p>Tutkimustulokset osoittivat, että ääniteknisissä suunnittelussa ja toteutuksessa on isoja puutteita. Äänitekniset tavoitteet määritellään riittävän kattavasti sisäilmastoluokituksen avulla, mutta äänitekniikan toteutumista tulisi valvoa suunnittelu- ja toteutusvaiheessa sekä tarkistaa mittauksilla valmiin rakennuksen ominaisuudet. Vaativissa hankkeissa akustisen suunnittelijan käyttäminen on myös suositeltavaa.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> akustiikka, äänitekniikka, ääneneristys, koulurakennukset, ilmanvaihto			
<b>Sivumäärä</b> 52+35	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Mika Kuusela		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Mikkelin kaupunki	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b> 8.5.2012	
<b>Author(s)</b> Risto-Matti Remes		<b>Degree programme and option</b> Building services (HVAC)	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Acoustic features of school building			
<b>Abstract</b> <p>The purpose of the thesis was to examine acoustic features of school building. The commissioner of the thesis was city of Mikkeli. Target school was school of Kalevankangas, which is located in Mikkeli. The school building was under renovation and it started operating in August 2011. During renovation, building's old part was renovated from floor to roof and school also got more space from two extra wings. The main goal of examination was to give instructions about building's acoustics and how the commissioner should take care of acoustics in future building projects.</p> <p>Building's acoustic has great effect on students' and teachers' health and comfort. In bad acoustic conditions, students have hard to concentrate and at the same time teacher's voice has to struggle with high background noise level. Because buildings are always designed for certain purpose, the acoustic conditions should also respond and support this certain purpose of use.</p> <p>In school of Kalevankangas, the acoustic features were measured by HVAC's noise level, structure sound insulation and reverberation time. For building's indoor climate, target class S2 has been set by Indoor climate classification. Indoor climate class S2 obligates use of SFS standard 5907 "Acoustic classification of buildings'" and therefore building must reach SFS 5907 acoustic class C.</p> <p>Building didn't meet the requirements what were set for it. HVAC's noise levels were passed only in 4 of 11 measured rooms. In structure sound insulation, only 2 structures of 7 met the needed values and none of the measured reverberation times were by the standard.</p> <p>The result of research showed that there were lacks in designing. Indoor climate classification defines acoustic features of building in right accuracy, but there should be more surveillance in designing and building phase. Acoustic features should be also measured afterwards. In demanding building projects, it is preferred to hire acoustic designer.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Acoustic, School buildings, ventilation, sound insulation			
<b>Pages</b> 52+35	<b>Language</b> Finnish		<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Mika Kuusela		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> City of Mikkeli	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	3
2	ÄÄNITEKNIIKAN PERUSTEET.....	4
3	MÄÄRÄYKSET JA OHJEET.....	7
3.1	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 .....	7
3.2	Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1.....	8
3.3	SFS-Standardi 5907 Rakennusten akustinen luokitus .....	8
3.4	Sisäilmastoluokitus 2008 .....	10
4	ILMASTOINTILAITOKSEN ÄÄNILÄHTEET.....	10
4.1	Puhaltimen ääni .....	11
4.2	Virtauksen aiheuttama ääni.....	11
4.2.1	Kanavistossa ääntä aiheuttavat muut laitteet .....	14
4.2.2	Päätelaitteiden ääni .....	16
4.3	Ilmastointilaitoksen äänen vaimennus.....	17
4.3.1	Suoran kanavan vaimennus.....	17
4.3.2	Mutkien ja haarojen vaimennus .....	18
4.3.3	Kanavan supistus .....	19
4.3.4	Äänenvaimentimet .....	20
5	AKUSTINEN SUUNNITTELU .....	21
5.1	Akustiikka oppilaitoksissa.....	22
5.2	Luokkahuoneiden akustiikka.....	23
5.3	Ilmaääneneristys .....	23
5.4	Ilmaääneneristysluku .....	24
6	MITTAUSMENETELMÄT JA –LAITTEISTOT.....	26
6.1	Mittalaitteet.....	26
6.2	Ilmanvaihdon äänitasomittaus .....	27
6.3	Rakenteiden ääneneristävyysmittaus .....	28
7	TUTKIMUSKOHDDE .....	29
8	ILMANVAIHDON ÄÄNITASOMITTAUSTEN TULOKSET .....	29
8.1	Luokkahuone E119 .....	29
8.2	Luokkahuone E120.....	31
8.3	Luokkahuone E115.....	32



8.4	Toimisto/puheterapia E132.....	33
8.5	Ryhmätila E136 .....	34
8.6	Luokkahuone C120.....	36
8.7	Luokkahuone D122 .....	36
8.8	Luokkahuone D124 .....	36
8.9	Luokkahuone D125 .....	37
8.10	WC D129 .....	37
8.11	Käytävä D126 .....	38
8.12	Yhteenvedo ilmanvaihdon äänitasomittauksista .....	38
9	RAKENTEIDEN ÄÄNENERISTÄVYYS MITTAUSTULOKSET .....	41
9.1	Huoneiden D122 ja D123 välinen ääneneristävyys.....	41
9.2	Huoneiden D124 ja D125 välinen ääneneristävyys.....	42
9.3	Käytävän D126 ja luokkahuoneen D124 välinen ääneneristävyys.....	43
9.4	Teknisen työn tilan ja ATK luokan välinen ääneneristävyys .....	44
9.5	Luokkahuoneiden E119 ja E120 välinen ääneneristävyys .....	45
9.6	Käytävän E110 ja luokkahuoneen E119 välinen ääneneristävyys .....	46
9.7	Toimisto- ja puheterapiahuone E132 ja yksilöopetushuoneen E133 välinen ääneneristävyys .....	46
9.8	Yhteenvedo rakenteiden ääneneristävyystä .....	47
10	PÄÄTELMÄT.....	49
	LIITE/LIITTEET	
	1 E119 äänitasot	
	2 E120 äänitasot	
	3 E115 äänitasot	
	4 E132 äänitasot	
	5 E136 äänitasot	
	6 C120 äänitasot	
	7 D122 äänitasot	
	8 D124 äänitasot	
	9 D125 äänitasot	
	10 WC D129 äänitasot	
	11 Käytävä D126 äänitasot	
	12 D122-D123 välinen ääneneristävyys ja D123 jälkikaiunta-aika	
	13 D124-D125 välinen ääneneristävyys ja D125 jälkikaiunta-aika	
	14. D126-D124 välinen ääneneristävyys ja D124 jälkikaiunta-aika	
	15 Tekn.tila-Atk-luokan välinen ääneneristävyys ja Atk-luokan jälkikaiunta-aika	
	16 E119-E120 välinen ääneneristävyys ja E119 jälkikaiunta-aika	
	17 E110-E119 välinen ääneneristävyys	
	18 E132-E133 välinen ääneneristävyys ja E132 jälkikaiunta-aika	

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni aiheena on Mikkelin kaupungin tarjoama selvitystyö koskien koulurakennuksen äänitekniisiä ominaisuuksia. Työn tavoitteena on saatavien tulosten perusteella ohjeistaa, miten Mikkelin kaupungin kannattaisi ottaa huomioon äänitekniset ominaisuudet tulevaisuuden rakennushankkeissa. Työn kohteena on Mikkelissä sijaitseva Kalevankankaan koulu. Koulurakennus on juuri valmistunut ja aloittanut toimintansa 1.8.2011. Rakennusvaiheessa remontoitiin jo ennestään olemassa olevaa koulurakennusta sekä rakennettiin aivan kokonaan uutta tilaa koulun käyttöön.

Koulurakennuksessa akustiikalla on suuri merkitys oppilaiden ja opettajien työrauhaan, viihtyvyyteen ja terveyteen. Huonoihin ääniolosuhteisiin voi olla syynä esimerkiksi korkea taustäänitaso, liikaa tai liian vähän kaikuvat luokkahuoneet, tai heikosti ääntä eristävät rakenteet. Huonoissa ääniolosuhteissa oppilaiden keskittymiskyky heikkenee, jolloin oppiminen vaikeutuu oleellisesti. Opettajille suurin terveyshaitta huonoissa ääniolosuhteissa on opetustilassa vallitseva korkea taustäänitaso, joka vaarantaa opettajan puhekykyä.

Tehtävien mittausten tarkoituksena on todeta, täyttääkö rakennus nykyaikaiset määräykset, ja saada selville, vastasiko suunnittelu- ja rakennustyö rakennukselle asetettuja äänitekniisiä vaatimuksia. Rakennukselle on asetettu tavoitetasoksi sisäilmastoluokka S2. Sisäilmastoluokka S2 vaatii rakennukselta SFS standardin 5907 ”Rakennusten akustinen luokitus” mukaista akustista luokitusta C. Tarkoituksena on tutkia asetettujen vaatimusten toteutumista rakennuksessa kolmen eri äänitekniisen mittauksen avulla, jotka ovat rakenteiden ääneneristävyys-, ilmanvaihdon äänitaso- ja jälkikaiunta-aikamittaukset.

## 2 ÄÄNITEKNIIKAN PERUSTEET

Äänenpainetaso,  $L_p$  [dB], kuvaa fysikaalisen äänen paineen voimakkuutta. Ihminen aistii kuulollaan paineen vaihtelut 20:sta  $\mu\text{Pa}$  ( $p_0$ ) ylöspäin. 20:n Pa (120 dB) kohdalla aistimus muuttuu kipuaistimukseksi. Jotta äänen paineesta  $p$  saadaan helpommin käsiteltävä arvo, verrataan sitä vertailuäänenpaineeseen,  $p_0$ . Äänenpainetaso,  $L_p$ , voidaan laskea kaavalla:

$$L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

$p$	äänen paine, Pa
$p_0$	vertailuarvo, $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Äänitehotaso,  $L_w$ , käytetään, kun ilmoitetaan laitteiden ympäristöön tuottamaa ääntä, esim. puhaltimien ja pumppujen. Äänitehotaso on sama joka paikassa eli se ei ole riippuvainen etäisyydestä eikä ympäristön ominaisuuksista.

Ääni on väliaineessa etenevä aaltoliike ja aaltoliikkeen aiheuttama kuulohavainto. Tavallisin väliaine on ilma, tällöin kyseessä on ilmaaäni [1, s. 5]. Runko- ja askelääni on ääntä, joka etenee rakennuksessa kiinteässä aineessa, kuten runkorakenteissa tai maakerroksessa. Runkoääntä synnyttää rakenteissa kiinni olevien laitteiden värähtely, esimerkiksi pumppujen ja kompressoreiden tärinä. Askelääni on runkoääntä, mutta sen aiheuttajana on esim. kävely tai huonekalujen siirtely. [3, s. 35-36.]

Keskiäänitaso  $L_{A,eq,T}$  [dB] tarkoittaa äänitason keskiarvo tietyllä mittausaikavälillä  $T$ . Enimmäisäänitaso  $L_{A,max}$  [dB] on mittausvälillä todettu korkein hetkellinen enimmäisäänitaso. [3, s. 41.]

A-painotus ottaa huomioon ihmisen kuuloaistin herkkyuden. Ihmisen kuulo on herkkimmillään välillä 2000–5000 Hz, tämän alueen ulkopuolella kuuloherkkyys alenee. A-painotus lisätään taajuuskaistoittain äänenpainetasoihin,  $L_p$ , ja näin saadaan A-painotettu äänenpainetaso,  $L_p(A)$ . [3, s. 39.]

Absorptioala,  $A$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{Sab}$ ], kertoo huoneessa olevan absorptiomateriaalin kokonaismäärän neliömetreinä eli paljonko huoneessa on pinta-alaa, jonka absorptiosuhde,  $\alpha$ , on 1. Huoneiden pinnoilla on useita erilaisia materiaaleja, ja kaikilla materiaaleilla on oma absorptiosuhde  $\alpha$  ja eri pinta-ala  $S$  [ $\text{m}^2$ ]. Absorptiosuhde  $\alpha$  voi saada arvoja väliltä 0,0-1,0. Arvo 0,0 tarkoittaa täysin ääntä heijastavaa pintaa ja 1,0 vastaavasti täysin ääntä absorboivaa pintaa. [3, s. 47.] Huoneen kokonaisabsorptioala saadaan kaikkien pintamateriaalien absorptioalojen summasta seuraavasti:

$$A = \alpha_1 * S_1 + \alpha_2 * S_2 + \dots + \alpha_n * S_n \quad (2)$$

Äänen absorptiota ei pidä sekoittaa ääneneristykseen. Absorptio on pintamateriaalien ominaisuus, ja se vaikuttaa huonetilan sisällä syntyvään ääneen. Ääneneristys vaimentaa huoneesta toiseen kulkeutuvaa ääntä. [3, s. 47.]

Jälkikaiunta-aika,  $T$  [s], on aika, jossa äänilähteen synnyttämä äänenpainetaso huone-tilassa laskee 60 dB. Huoneen jälkikaiunta-aika voidaan mitata voimakkaan äänilähteen avulla. Äänilähde sammutetaan äkillisesti ja mitataan aikaa, jossa äänenpainetaso laskee. [3, s. 50.]

Jälkikaiunta-ajalla on akustiikan kannalta suuri merkitys puhetiloissa eli auditorioissa ja opetustiloissa. Mitä lyhyempi jälkikaiunta-aika on, sitä nopeammin puheen tavut vaimenevat, ja taas mitä pitempi jälkikaiunta-aika on, sitä enemmän tavut kaikumaan tilaan ja puhe puuroutuu. [3, s. 41.] Taulukossa 1 on esitetty suositeltavia arvoja jälkikaiunta-ajalle erilaisissa tiloissa.

**TAULUKKO 1. Tilojen jälkikaiunta-aikoja 500 Hz:n keskitaajuudella [3, s. 50]**

Jälkikaiunta-aika	Esimerkki tila
>5 s	Kivikirkko
1,8-2,2 s	Konserttisali
1,0-1,2 s	Auditorio
0,5-0,8	Luokkahuone

Puheen erotettavuutta voidaan kuvata puheensiirtoindeksillä,  $STI$  (Speech Transmission Index). Puheen erotettavuus riippuu taustamelutason ja puheen äänitasojen erotuk-

sesta, jälkikäytö-ajasta, etäisyydestä puhujan ja kuulijan välillä sekä puhujan suunnasta kuulijaan nähden. Kaikkien näiden muuttujien vaikutus puheeseen voidaan il-  
masta yksiselitteisesti puheensiirtoindeksillä, *STI*. [3, s. 55-56.]

Puheensiirtoindeksi, *STI*, määritetään standardissa IEC 20268-16. Indeksillä on luku, joka esittää, miten hyvin kuulija voi erottaa tavut puheesta. Indeksillä voi saada arvoja väliltä 0,00-1,00. Puheenerotettavuus on sitä parempi, mitä isompi lukuarvo on. Arvo 1,00 voidaan saavuttaa huonetiloissa käytännössä vain puhujan lähellä, tällöin puheen tavuerotettavuus on täydellinen. Jos lukuarvo on 0,00, ei puheesta saa selvää edes yhden tavun verran. [3, s. 55-56.]

Puhetiloissa, kuten luokkahuoneissa, pyritään täydelliseen puheenerotettavuuteen ja sen raja-arvona pidetään  $STI > 0,75$ . Vastaavasti tiloissa, joissa käydään luottamuksellisia keskusteluja, kuten avotoimistot, pyritään alhaiseen *STI*-arvoon. Alhaisella *STI* -arvolla tilassa saavutetaan myös parempi keskittymiskyky. Oppilashuollon tiloissa *STI*-arvon tulisi olla 0,00 viereiseen huonetilaan. Tämän saavuttamiseksi vaaditaan hyvää ääneneristystä. Asiaan voidaan vaikuttaa myös nostamalla viereisen huoneen taustamelutasoa, esimerkiksi ilmanvaihdon avulla. [3, s. 55-56.] Taulukossa 2 on esitetty suositeltavia *STI*-arvoja erilaisille huonetiloille ja vierekkäisten toimistopisteiden välille.

**TAULUKKO 2. Ohjeellisia *STI*-arvoja erilaisiin tiloihin ja tilojen välille [3, s. 56]**

<b>STI-arvo</b>	<b>Puheen erotettavuus</b>	<b>Esimerkki tila</b>
0,3-0,45	Huono	Kivikirkko
0,45-0,6	Välttävä	Konserttisali
0,6-0,75	Hyvä	Suuri auditorio
>0,75	Erinomainen	Hyvin suunniteltu luokkahuone
<b>STI-arvo</b>	<b>Puheenpeitto</b>	<b>Esimerkki tiloista</b>
0,05-0,2	Erittäin hyvä	Työhuoneiden välillä
0,4-0,55	Kohtalainen	Avotoimisto, hyvin toteutettu
0,7-0,85	Huono	Avotoimisto, huonosti toteutettu



### 3.2 Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C1 käsittelee ääneneristystä ja meluntorjuntaa rakennuksessa. Määräyksessä ilmoitetaan erilaisten tilojen pienimmät sallitut rakenteiden ilmaääneneristävyyshuonot  $R'_{w}$ , jälkikaiunta-ajat  $T$ , LVIS-laitteiden suurimmat sallitut äänitasot ja rakennuksen ulkopuolelle tuottaman äänitason maksimiarvo.

### 3.3 SFS-Standardi 5907 Rakennusten akustinen luokitus

Standardin tarkoitus on täydentää rakennusmääräyskokoelmia ja antaa ohjeistusta suunnittelu- ja urakointivaiheisiin. Standardi antaa rakennusten akustiikalle 4 eri luokitusta, ne ovat A, B, C ja D. Luokka A ja B ovat luokkia, joissa rakennus on akustiikaltaan tavanomaista parempi. Luokka C vastaa Suomen rakennusmääräyskokoelmia ja luokka D on akustiikaltaan vaatimattomin, ja soveltuu vain vanhojen rakennusten akustisten ominaisuuksien määrittämiseen. Standardi määrittelee akustiset ominaisuudet yleisimmille rakennus- ja huonetyypeille. Määriteltävät akustiset ominaisuudet ovat seuraavanlaisia: Ilmaääneneristysluku  $R'_{w}$ , askelääneneristysluku  $L'_{n,w}$ , jälkikaiunta-aika  $T$ , LVIS-laitteiden aiheuttamat äänitasot  $L_{A,eq,T}/L_{A,max}$ , rakennuksen ulkopuolisen äänilähteen aiheuttama äänitaso  $L_{A,eq,7-22}$ , ja puheensiirtoindeksi  $STI$ . Taulukoista 4-6 ilmenee standardin 5907 määrittämiä ääniteknisiä arvoja koulurakennuksille.

#### TAULUKKO 4. Koulurakennuksen pienimmät sallitut ilmaääneneristävyyshuonot $R'_{w}$ [4, s. 17]

Tila	Luokat A ja B	Luokka C
Luokkahuoneiden tai niihin rinnastettavien tilojen sekä luokkahuoneen ja käytävän välillä, kun välissä ei ole ovea	48	44
Luokkahuoneiden tai niihin rinnastettavien tilojen sekä luokkahuoneen ja käytävän välillä, kun välissä on ovi <sup>1)</sup>	39	34
Erityisluokkahuoneiden välillä tai erityisluokkahuoneen ja luokkahuoneen välillä <sup>2)</sup>	65	57
Luokkahuoneiden välillä, kun välissä on ovi <sup>3)</sup>	44	39
Koulukuraattorin, -psykologin ja -terveydenhoitajan sekä opinto-ohjaajan huoneen ja ympäröivien tilojen välillä	52	48
Koulukuraattorin, -psykologin ja -terveydenhoitajan sekä opinto-ohjaajanhuoneen ja odotushuoneen tai käytävän välillä <sup>4)</sup>	44	39

<sup>1)</sup> Luokkahuoneen ovena käytetään vähintään  $R_w$  30 dB ovea (C) tai  $R_w$  37 dB ovea (A / B).

<sup>2)</sup> Erityisluokkahuoneita ovat mm. musiikkiluokkahuone, teknisten käsittöiden tila ja liikuntatila. Erityisluokkahuoneen ovena käytetään  $R_w$  48 dB ovea.

<sup>3)</sup> Luokkahuoneiden välisenä ovena käytetään vähintään  $R_w$  42 dB ovea tai ovihdistelmää.

<sup>4)</sup> Tiloissa käytävien luottamuksellisten keskustelujen vuoksi edellytetään erittäin hyvää ääntä eristävää ovea tai ovihdistelmää.

**TAULUKKO 5. Koulurakennuksen jälkikaiunta-ajat [4, s. 18]**

Tila <sup>2)</sup>	Luokat A ja B	Luokka C
Luokkahuone	0,5...0,6	0,6...0,8
Aulat	0,7...0,9	0,9...1,1
Auditoriot, suuret ryhmäopetustilat <sup>3)</sup>	0,6...0,8	0,6...0,9
Liikuntatila, korkeus alle 5 m	< 1,1	< 1,5
Liikuntatila, korkeus yli 5 m	< 1,3	< 1,9
Teknisten käsitöiden tila	< 0,5	< 0,9
Musiikkiluokka <sup>3)</sup>	0,8...0,9	< 1,0
Musiikkiluokka, sähköinen vahvistus	< 0,6	< 0,9
Opettajainhuone, toimistohuoneet	< 0,6	< 0,6
Käytävät, porrashuoneet	< 0,9	< 1,3

<sup>1)</sup> Jälkikaiunta-ajan raja-arvot on esitetty pisimpinä sallittuina aikoina oktaavikaistoilla 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz. Taajuudella 125 Hz raja-arvo voidaan ylittää 50 %.

<sup>2)</sup> Tilat kalustettu kintokalustein. Oppilaita tai opetusvälineitä ei ole huoneessa.

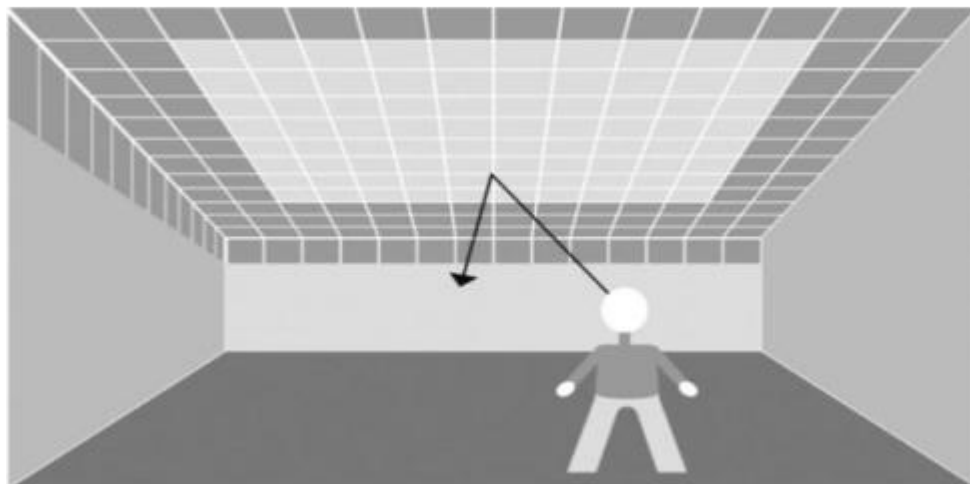
<sup>3)</sup> Musiikkiluokan, suurten ryhmäopetustilojen ja auditorioiden akustinen suunnittelu on suositeltavaa tilan toimivuuden saavuttamiseksi.

**TAULUKKO 6. Koulurakennuksen suurimmat sallitut LVIS-laitteiden äänitasot [4, s. 18]**

Tila	Luokat A ja B	Luokka C
Luokkahuone, koulukuraattorin, -psykologin ja -terveydenhoitajan sekä opinto-ohjaajan huone, erityisloukkahuone <sup>1)</sup> , aulat, suuret ryhmäopetustilat	28/33	33/38
Käytävät, porrashuoneet, liikuntatila	33/38	38/43
Samat tai läheisen rakennuksen ikkunan ulkopuolella, parvekkeella, pihamaalla tai muussa vastaavassa paikassa asuinalueella ja muilla melulle herkkillä alueilla	45/ -	45/ -

<sup>1)</sup> Erityisloukkahuoneita ovat mm. musiikkiluokkahuone, teknisten käsitöiden tila.

Standardin liitteet antavat lisäohjeistusta tilojen suunnitteluun. Liitteessä B käsitellään luokkahuoneen huoneakustiikkaa ja ohjeistetaan mm. miten luokkahuoneen absorptiomateriaalit tulisi sijoittaa tilaan. Kuvassa 1 on esimerkki ideaalisesta absorptiomateriaalien sijoittelusta luokkahuoneessa.

**KUVA 1. Absorptiomateriaalien ideaalinen sijainti luokkahuoneessa [4, s. 26]**



Käytettäessä luokan A absorptiomateriaaleja tulisi materiaalin määrä olla 70 % lattia-pinta-alasta. Materiaalista 70 % tulisi sijaita katossa ja 30 % katon rajassa taka- ja sivuseinillä. Kuvassa oleva valkea-alue kuvaa aluetta, johon ei tulisi sijoittaa ollenkaan absorptiomateriaali. [4, s.25-26.]

### **3.4 Sisäilmastoluokitus 2008**

Sisäilmastoluokitus on ohjeistus, jonka avulla rakennuksen sisäilmastolle voidaan asettaa rakennusmääräyksiä tiukempia raja-arvoja, ja näin saavuttaa entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokitus antaa arvoja mm. rakennuksen lämpötiloille, lämpötilavaihtelulle ja ilmamäärille. Luokitus jakaa rakennuksen sisäilmaston kolmeen eri luokkaan, jotka ovat S1, S2 ja S3. Luokka S1 on vaativin ja luokka S3 vastaa rakennusmääräysten mukaisia minimivaatimuksia.

Sisäilmastoluokitus noudattaa ääniolosuhteissa standardia SFS 5907. Sisäilmastoluokassa S2 tulisi pyrkiä vähintään standardin SFS 5907 luokkaan C eli minimi vaatimuksiin ja luokassa S1 tavoitetasona on standardin luokka B.

## **4 ILMASTOINTILAITOKSEN ÄÄNILÄHTEET**

Ilmastointilaitoksessa on lukuisia eri äänilähteitä. Pääasiallisesti ääni kehittyy pääte-laitteissa, puhaltimissa ja säätöpelleissä. Nämä äänilähteet jaotellaan usein kahteen ryhmään: ensimmäiseen ryhmään kuuluu pumpput, puhaltimet ja muut kojeet, ja toiseen ryhmään kuuluu ilman virtaus kanavissa, säätöpelleissä ja päätelaitteissa [1, s. 41]. Kaikkien äänilähteiden yhteisvaikutus kantautuu ilmanvaihtokanavia ja rakenteita pitkin rakennuksen muihin tiloihin. Hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella äänen kulkeutuminen saadaan hallintaan rakennuksessa, ja näin ollen saadaan luotua rakennukseen haluttu äänimaailma.

Ääntä ei ole aina tarkoitus vaimentaa kokonaan, vaan joskus sen avulla on tarkoitus luoda tilaan hieman korkeampi taustäänitaso ja saada näin toimiva ja miellyttävä ympäristö. Tällaiseen ratkaisuun päädytään usein avotoimistoissa, joissa hälinää on muutenkin paljon. Näin ilmanvaihdon aiheuttamalla korkeammalla taustäänitasolla voidaan alentaa muiden äänien häiritsevyyttä ihmisten keskittymiskykyyn. Samaa

ratkaisua voidaan käyttää tiloissa, joissa vaaditaan asioiden pysymistä yksityisinä, esimerkkinä terveydenhuollon tilat. Tällöin mahdolliseen vieressä sijaitsevaan odotus-huoneeseen voidaan aiheuttaa hieman korkeampi taustäänitaso. Korkeampi taustäänitaso ja hyvä rakenteen ääneneristävyys yhdessä saavat aikaan olosuhteet, joissa asioita voidaan käsitellä niin, että ne pysyvät yksityisinä.

#### **4.1 Puhaltimen ääni**

Ilmanvaihtolaitoksen merkittävin äänilähde on puhallin. Tästä syystä on tärkeää suunnittelun ja toteutuksen kannalta, että laitevalmistajilta saadaan luotettavan mittaustavan mukaiset ja käyttökelpoiset äänitiedot [1, s. 46].

Puhaltimen äänenkehitykseen vaikuttaa monta eri tekijää, jotka ovat suurimmalta osin laitevalmistajasta riippumattomia. Puhaltimen tuottama äänitaso on kaikkein alhaisimmillaan, kun puhallin toimii ominaiskäyrällään eli parhaalla hyötysuhteella. Tästä syystä puhaltimen valinnassa onkin syytä nähdä vaivaa.

Puhaltimesta syntyy ääntä, joka ilmenee värähtelynä. Tämän saa aikaan huonot laakerit tai epätasapainossa olevat pyörivät osat. Värähtelyäänestä kehittyy ongelma usein vasta epäkuntoisilla puhaltimilla [1, s. 48.]. Värähtelyn takia on tärkeää, että puhaltimilla on oikein mitoitetut tärinävaimentimet, jotka estävät tärinän kulkeutumista runkorakenteisiin. Tärinän pääsyä ilmanvaihtokanaviin estetään usein myös pehmeillä ja joustavilla kanavaliitoksilla.

Suurin ääni puhaltimella syntyy tilavuusvirran ja paineenvaihtelun yhteisvaikutuksesta. Puhaltimen luona virtaus on hyvin turbulenttista, ja tästä syystä puhaltimen läheisyydessä syntyy paljon paineenvaihtelua eli ääntä. Turbulenttisuus on suhteessa puhaltimen kehittämään tilavuusvirtaan ja paineenvaihtelu taas puhaltimen kehittämään kokonaispaineeseen. [1, s. 48.] Valmistajat ilmoittavat yleensä puhaltimen äänitehotason  $L_W$  ja äänen jakautumisen oktaavikaistoittain.

#### **4.2 Virtauksen aiheuttama ääni**

Virtausmelua syntyy ilmanvaihtokanavistoissa turbulenttisen virtauksen takia. Kanavistossa on paljon erilaisia kanavaosuuksia, kuten mutkia, haaroja, kanavakoon muu-

toksia ja suoria osuuksia. Kaikki nämä erilaiset osuudet ovat erilaisia äänen kehityksen kannalta, ja äänen mittaaminen niissä on hankalaa.

Virtausmelu noudattaa tiettyjä säännönmukaisuuksia, ja näin ollen virtauksesta syntyvä äänitehotaso suorassa kanavassa, kulmissa, haaroissa ja käyrissä voidaan laskea seuraavilla kaavoilla [1, s. 52.].

#### Suora kanava:

$$L_w = 10 + 50 \log v + 10 \log A \text{ dB} \quad (1)$$

$v$  virtausnopeus, m/s

$A$  kanavan poikkipinta-ala, m<sup>2</sup>

#### Kulma:

$$L_w = L_{WP} + 10 \log \Delta f + 30 \log d_g + 50 \log v \quad (2)$$

$L_{WP}$  strouhal –luvusta (Str) riippuva perustehotaso, dB, taulukko 7.

$\Delta f$  oktaavikaistan leveys, Hz, taulukko 8.

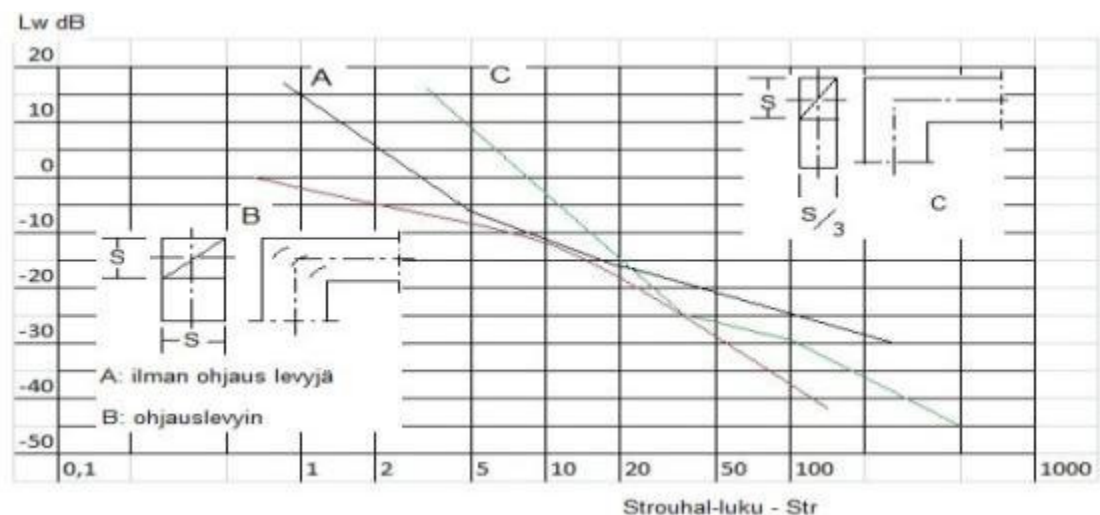
$d_g$   $\frac{4 \cdot A}{\pi}$ , m<sup>2</sup>

$v$  virtausnopeus, m/s

Str  $\frac{f_m \cdot d_g}{v}$

$f_m$  oktaavikaistan keskitaajuus, Hz

#### TAULUKKO 7. Suoran kulman aiheuttama virtausmelu



**TAULUKKO 8. Oktaavikaistan leveys**

			Oktaavikaistan leveys, Hz					
oktaavikaistan keskitaajuus, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Δf, Hz	44	88	176	352	704	1408	2786	5600

**Käyrä ja haara:**

$$L_W = L_{WP} + 10 \log \Delta f + 30 \log d_h + 50 \log v_h \quad (3)$$

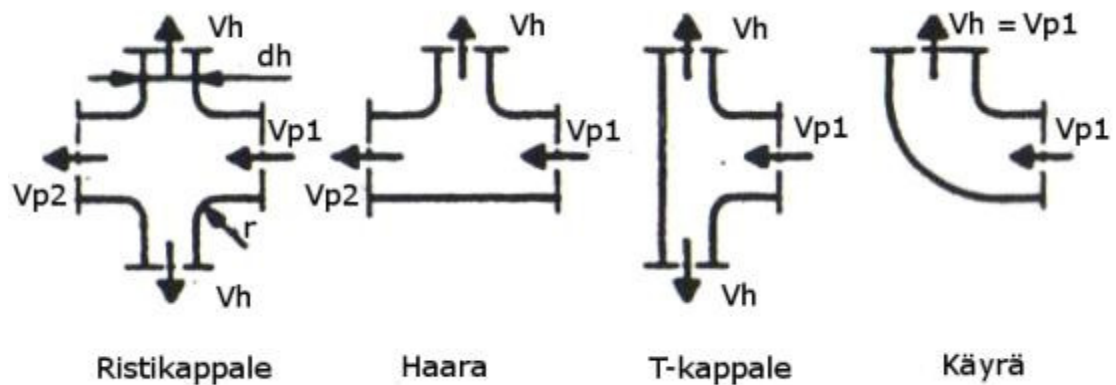
$L_{WP}$  strouhal –luvusta (Str) riippuva perustehotaso, dB, taulukko 9.

$d_h$  haarakanavan halkaisija, m<sup>2</sup>

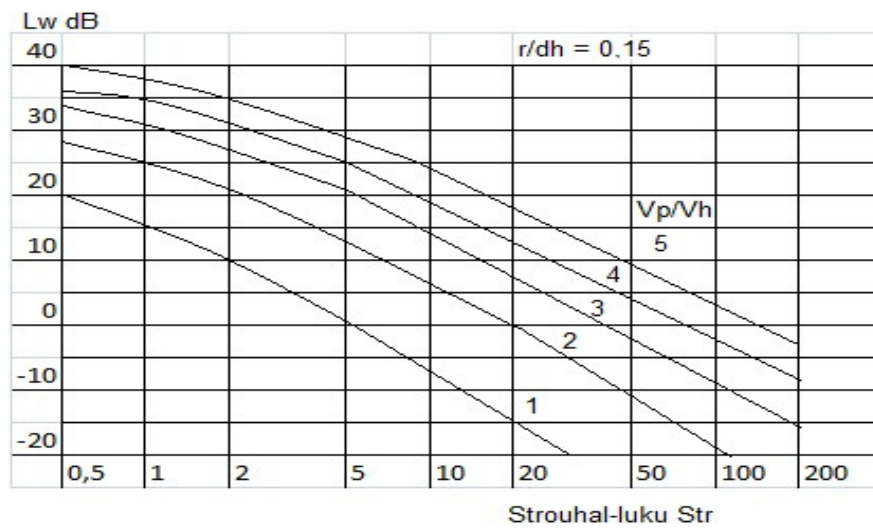
$v_h$  virtausnopeus haarassa, m/s

Str,  $f_m$  ja  $\Delta f$ , kuten aikaisemmin.

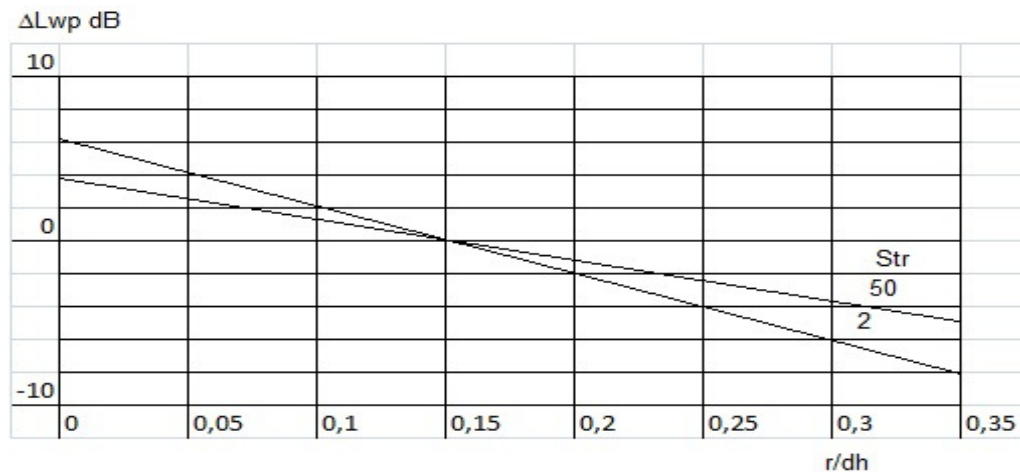
Kuvassa 2. on selvennetty haarojen ja käyrien äänitehotasojen laskentaan käytettävien kanavan halkaisijan ja kanavan nopeuden arvojen esimerkkejä.



**KUVA 2. Käyrien sekä haarojen virtausnopeudet ja halkaisijat**

**TAULUKKO 9. Käyrien ja haarojen aiheuttama virtausmelu**

Taulukon 9 arvot pätevät käyrille ja kulmille, joiden pyöristyssäteen suhde kanavan halkaisijaan ( $\frac{r}{d_h}$ ) on 0,15. Jos säteen ja halkaisijan suhde on eri, on kaavasta 3 saatua tulosta korjattava taulukosta 10 saadulla arvolla

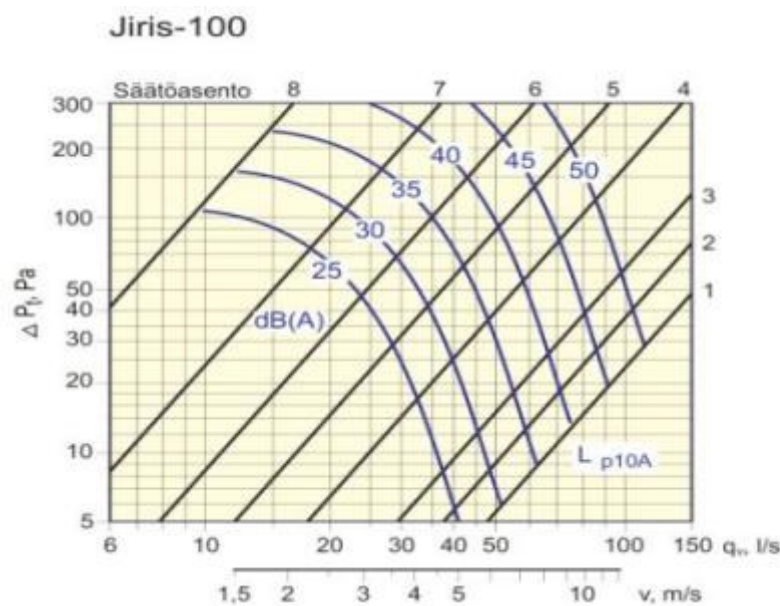
**TAULUKKO 10. Pyöristyssäteen vaikutus äänen kehitykseen**

#### 4.2.1 Kanavistossa ääntä aiheuttavat muut laitteet

Kanavistossa ääntä aiheuttavat monet erilaiset laitteistot. Tällaisia ovat muun muassa säätö-, palo- ja sulkupellit, mittalaitteet sekä lämmitys- ja jäähdytyspatterit. Patterit ovat yleensä äänen kehityksen kannalta toissijaisia laitteita, koska niissä ilman nopeudet ovat pieniä ja näin ollen syntyvä ääni on merkityksetöntä.

Säätölaitteille äänitehotason mittaustavat ovat samanlaiset kuin puhaltimilla, koska ne johtavat äänitehonsa kanavaan ja kanavan/vaippansa läpi ympäröivään tilaan. Säätölaitteiden mittaukset tehdään eri tilavuusvirroilla, painehäviöllä ja säätöasennoilla ja näiden perusteella valmistajat ilmoittavat kokonaistehotason käyrästöissä. Säätölaitteiden tuottamasta äänestä ilmoitetaan taajuusjakauma oktaavikaistoittain. Usein valmistajat antavat korjauskertoimen  $K_{\text{okt}}$ , jonka avulla saadaan laskettua äänen tehotaso oktaavikaistoittain. Taulukossa 11 on esimerkki valmistajien antamasta kuvaajasta, josta ilmenee säätöpellin äänen painetaso tietyllä tilavuusvirralla ja painehäviöllä.

**TAULUKKO 11. Säätöpellin mitoituskäyrästä [7, s. 2]**



Taulukossa 12 on esimerkin valmistajien ilmoittamista taajuuskaista korjauksista. Ohessa on myös laskukaava, miten tuotteen äänen tehotaso saadaan laskettua erikseen jokaiselle taajuuskaistalle.

**TAULUKKO 12. Säätöpellin taajuuskaistakorjaukset ja äänen tehotason laskukaava [7, s. 4]**

$$L_{\text{wokt}} = L_{\text{p10A}} + K_{\text{okt}}$$

Korjaus  $K_{\text{okt}}$  on keskiarvo Iriksen käyttöalueella

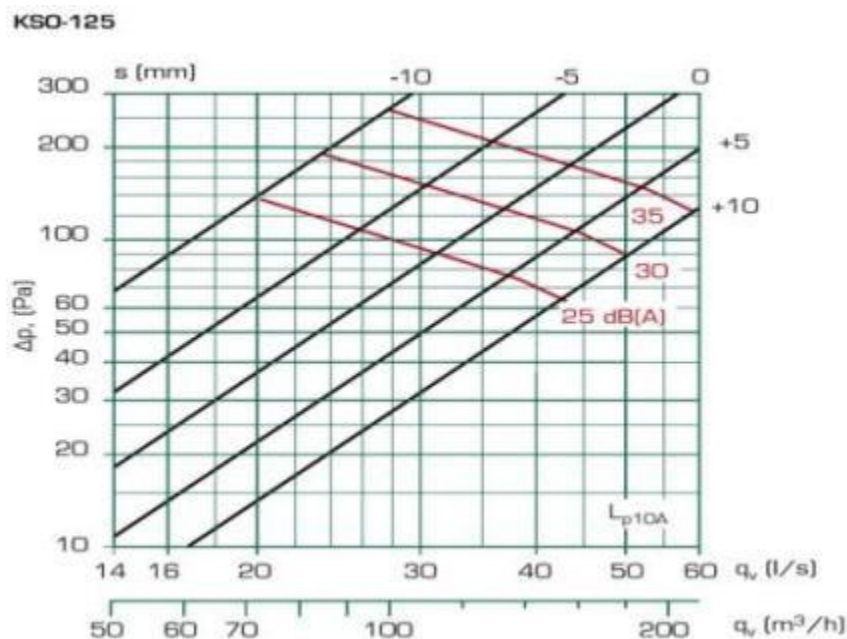
	KORJAUS $K_{\text{okt}}$ (dB)							
	Oktaavikaistan keskitäajuus (Hz)							
Koko	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	25	21	16	9	4	-6	-12	-25

#### 4.2.2 Päätelaitteiden ääni

Päätelaitte on äänen kehityksen kannalta kriittinen kohta ilmanvaihtojärjestelmässä, koska päätelaitteessa syntyvää ääntä ei voida enää vaimentaa ja näin ollen kehittyvä ääni välittyy suoraan käytettävään tilaan. Päätelaitteiden ääni riippuu suoraan laitteen painehäviöstä, tilavuusvirrasta ja päätelaitteen vapaan aukon pinta-alasta.

Päätelaitteiden äänen kehitys voidaan laskea likimääräisesti samantyyppisillä kaavoilla kuin suoran kanavan ja mutkien äänenkehitys, mutta luotettavimmat tulokset saadaan, kun turvaudutaan laitevalmistajien antamiin äänitietoihin. Valmistajat ilmoittavat päätelaitteille äänitiedot samalla tavalla kuin säätöpelleille. Äänitehotasomittaukset tehdään kaiuntahuone menetelmällä eri tilavuusvirroilla, painehäviöillä ja avausasunnoilla [1, s. 54]. Päätelaitteiden äänitiedot ilmoitetaan äänitehotason sijasta helpommin käsiteltävässä muodossa eli A-painotettuna äänenpainetasona  $L_{p10A}$ . Äänitehotason jakauma oktaavikaistoille saadaan selville valmistajan ilmoittaman korjauskertoimen  $K_{okt}$  avulla. Kuvassa 13 on esimerkki valmistajien ilmoittamista äänitiedoista.

**TAULUKKO 13. Päätelaitteen mitoitusaulukko [8, s. 2]**



Taulukossa 14 ilmoitetaan päätelaitteen korjauskertoimet  $K_{okt}$  sekä laskukaava jolla saadaan selville äänitehotason jakautuminen oktaavikaistoittain  $L_{W_{okt}}$ .

**TAULUKKO 14. Päätelaitteen korjauskertoimet [8, s. 3]**

KSO KSOS	Korjaus $K_{\text{okt}}$ , dB						
	Oktaavikaistan keskitäajuus Hz						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
100	-2	1	1	0	-5	-9	-23
125	-3	-2	-1	-4	0	-8	-24
160	1	-3	-1	2	-8	-12	-25
200	-1	-3	-4	2	-4	-9	-26
Tol.±	3	2	2	2	2	2	3

$$L_{W\text{okt}} = L_{p10A} + K_{\text{okt}}$$

### 4.3 Ilmastointilaitoksen äänen vaimennus

#### 4.3.1 Suoran kanavan vaimennus

Suorissa jäykkäseinäisissä kanavissa, kuten pyöreissä peltikanavissa, äänen vaimeneminen on erittäin pientä, n. 0,03-0,3 dB/m. Ilmanvaihtolaitoksen äänen vaimennustarve on yleensä yli 30 dB, joten suoraa kanavaa pitäisi laitoksessa olla satoja metrejä tarvittavan äänen vaimennuksen saavuttamiseksi. Tästä syystä suoran kanavan äänen vaimennus jätetään usein pieneksi varmuusvaraksi suunnittelussa, eikä sitä näin ollen oteta huomioon laskelmissa. [1, s. 65.]

Peltinen suorakaidekanava on ääneneristysominaisuuksiltaan heikko, joten ääni siirtyy helposti pois kanavasta. Suorakaidekanavan ulkopuolisella eristyksellä kanavasta saadaan suhteellisen tehokas matalien taajuuksien vaimentaja. Tällöin eristeenä tulee käyttää esimerkiksi mineraalivillaa, joka on päällystetty tiiviillä pellityksellä. Matalien taajuuksien vaikean vaimentamisen takia suorakaidekanavien äänen vaimennus otetaan laskelmissa huomioon. Ulkopuolelta eristetyllä suorakaide kanavalla saavutetaan 1-1,2 dB/m suuruinen äänen vaimennus taajuuskaistoilla 63-250 Hz. Tätä suuremmilla kaistoilla vaimennus on 0,3 dB/m. [1, s. 65.]

Suurempiin vaimennusominaisuuksiin päästään verhoilemalla ilmanvaihtokanavan sisäpinta hyvin ääntä absorboivalla materiaalilla, kuten mineraalivillalla tai vaahtomuovilla. Lähellä äänilähdettä sijaitseva sisäpuolinen vaimennusmateriaali vaimentaa tehokkaasti etenkin korkeita taajuuksia. Vaimennusmateriaalin paksuudella on vaikutusta eri taajuuksien vaimenemisominaisuuksiin. Ohut materiaali vaimentaa vain korkeita taajuuksia, ja mitä paksumpi materiaali on, sitä paremmin saadaan vaimennettua matalia taajuuksia. Myös kanavan koolla on merkitystä äänen vaimenemiseen. Paras



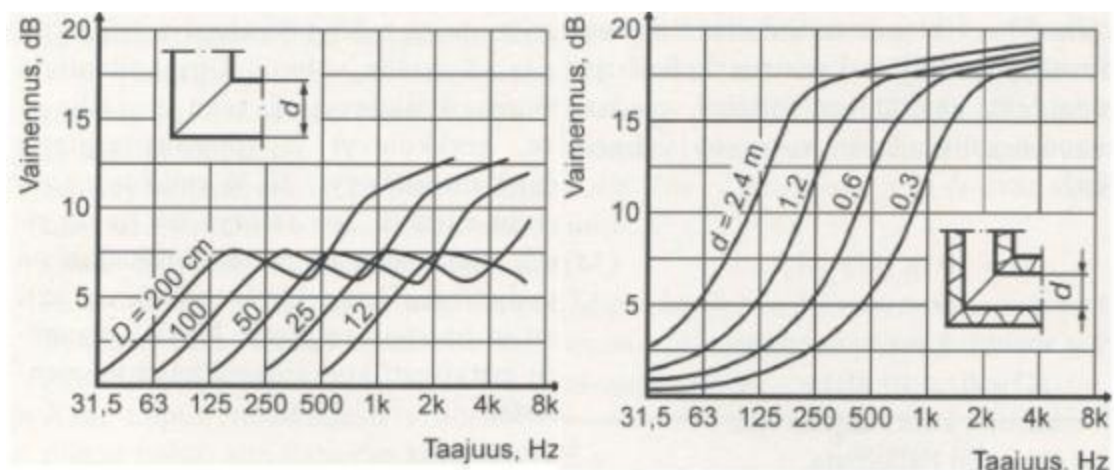
vaimennus saadaan aikaiseksi, kun kanavan halkaisija on yhtä suuri tai pienempi kuin äänen aallonpituus. Jos äänen aallonpituus on pienempi kuin kanavan halkaisija, ei ääniaalto kohtaa kanavan seinää ollenkaan ja näin ollen vaimenemista ei tapahdu. Tästä syystä suuressa kanavassa ei tapahdu äänen vaimenemista kuin aivan matalimmilla (pitkä aallonpituus) taajuuksilla. Suurien kanavien äänen vaimennusta voidaan parantaa edelleen asentamalla vaimennusmateriaalia kanavan keskelle seinämiksi. [1, s. 66.]

Kanavan sisäpuolisen vaimennusmateriaalin tulee kestää ilmanvirtauksen, ajoittaisen tärinän ja kanavan puhdistuksen aiheuttamat rasitukset. Materiaalista ei myöskään saa irrota haitallisia aineita tai kuituja. [1, s. 67.]

#### 4.3.2 Mutkien ja haarojen vaimennus

Vain jyrkissä mutkissa tapahtuu huomioitavaa äänenvaimennusta. Jyrkässä mutkassa ääniaalto törmää mutkan ulkoseinään ja osa äänitehosta heijastuu takaisin aiheuttaen näin vaimentumista. Toinen tapa vaimentaa ääntä mutkassa on asentaa mutkaan ääntä absorboivaa materiaalia. Näin saadaan vaimennettua hyvin korkeita (pieni aallonpituus) ääniä suurissa kanavissa, kun ääniaalto saadaan törmäämään absorboivaan materiaaliin. Loivissa mutkissa, kuten pyöreän kanavan käyrissä, vaimenemista ei juuri tapahdu, ja näin ollen sitä ei oteta huomioon laskelmissa. [1, s. 68] Taulukossa 15 on esitetty vaimentamattoman ja vaimennetun jyrkän mutkan aiheuttamat äänen vaimenusarvot oktaavikaistoittain.

**TAULUKKO 15. Vaimentamattoman ja vaimennetun jyrkän mutkan vaimennus**  
[1, s. 68]



Ilmanvaihtokanavien haaroissa ääniteho jakautuu haarakanavien pinta-alojen suhteessa. Ilmanvaihtokanavisto suunnitellaan yleensä siten, että haarakanavien pinta-alat ovat suhteessa haarakanavien ilmavirtoihin. [1, s. 64.] Tällöin haarakanavaan aiheutuva äänitehotaso voidaan laskea kaavalla 4.

$$L_{W'} = L_W - 10 * \log\left(\frac{q_v}{q_{v'}}\right) \quad (4)$$

$L_{W'}$  on haarakanavaan aiheutuva äänitehotaso, dB

$L_W$  on haaraan saapuva äänitehotaso, dB

$q_v$  on haaran saapuva ilmamäärä,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$q_{v'}$  on haarakanavan ilmamäärä,  $\text{dm}^3/\text{s}$

### 4.3.3 Kanavan supistus

Kanavan poikkipinta-alan äkillinen muutos synnyttää vaimennusta. Parhaimpaan vaimennus tulokseen päästään, kun poikkipinta-alan muutos on suorakulmainen. Poikkipinta-ala muutoksen aiheuttama vaikutus saadaan laskettua kaavalla 5. Kaava pätee täysin kanavan supistuessa. Kun kanava laajenee, kaava pätee vain kaavan 6 mukaisilla taajuuksilla. Kaavan avulla saatavan vaimennuksen maksimiarvona pidetään 8 dB, vaikka kaavalla saataisiinkin suurempia arvoja. [1, s. 71.]

$$D = 10 * \log\left[\frac{(m+1)^2}{4*m}\right] \text{ dB} \quad (5)$$

$D$  on aiheutuva vaimennus, dB

$m$  on kanavien poikkipinta-alojen suhde, ( $m>1$ )

$$f < \frac{c}{d} \quad (6)$$

$c$  on äänen nopeus ilmassa, 340 m/s

$d$  on kanavan halkaisija, suorakaide kanavassa  $d = \sqrt{a * b}$

Jos kanavan poikkipinta-alan muutos ei ole suorakulmainen, tulee saatua tulosta korjata taulukon 16 mukaisilla kertoimilla.

**TAULUKKO 16. Supistuskulman korjauskerroin**

Supistuskulma	90	75	60	45	30
Kerroin	1	0,4	0,25	0,15	0,12

#### 4.3.4 Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimeksi kutsutaan laitetta tai kanaviston osaa, jonka tarkoituksena on vaimentaa ääntä merkittävästi. Rakenteensa, toimintatapansa ja muotoilun perusteella äänenvaimentimet jaetaan kolmeen ryhmään: absorptio-, kammio- ja reaktiiviset vaimentimet. [1, s. 71.]

Absorptiovaimentimissa äänen vaimeneminen perustuu pääsääntöisesti äänen absorboitumiseen huokoiseen materiaaliin. Absorptiovaimentimet ovat yleisimmin käytettyjä, ja ne ovat pääsääntöisesti tehdasvalmisteisia. Tähän ryhmään voidaan lukea mukaan mm. lamelli-, sylinteri- ja laatikkovaimentimet. [1, s. 71-77.]

Tehdasvalmisteisille äänenvaimentimille valmistajat antavat vaimentimen äänenvaimennus arvot oktaavikaistoittain. Taulukossa 17 on esimerkki valmistajien ilmoittamista arvoista.

**TAULUKKO 17. Äänenvaimentimen vaimennusarvot oktaavikaistoittain [9]**

KVAp	D	L	Vaimennus dB / (Hz)							k-arvo
			63	125	250	500	1k	2k	4k	
100		300	6	6	9	18	21	26	25	0,55
		600	6	11	14	30	48	51	46	0,96
		1000	14	13	21	45	53	46	44	1,20

Kammiovaimentimeksi kutsutaan huonetta tai muuta tilaa, joka mitoiltaan on selvästi isompi kuin kanavan poikkileikkaus. Kammiovaimentimen ominaisuudet perustuvat osittain suureen pinta-ala muutokseen ja osittain äänen absorptioon. [1, s. 71 ja 78.]

Tyypillinen esimerkki kammiovaimentimista löytyy auditorioista, joissa ilma jaetaan auditorioon istuinten alapuolelta, tällöin katsomon alapuolella oleva tila toimii kammiovaimentimena.

Reaktiivisten vaimentimien vaimennusominaisuus perustuu äänienergian heijastuksiin. Heijastukset saadaan aikaiseksi kanavan äkillisellä laajentumalla ja uudelleen supistamalla. Kun laajennusosa on  $\frac{1}{4}$ -pituisen äänen aallonpituudesta, on heijastuva ääni vastakkaisessa vaiheessa laajennukseen saapuvan ääniaallon kanssa. Vastakkaisissa vaiheissa olevat ääniaallot kumoavat toisensa, ja näin ollen tapahtuu äänen vaimenemista. Heijastuvan äänen osuutta saadaan kasvatettua isontamalla laajennuksen ja kanavan poikkileikkauspinta-alojen suhdetta. Reaktiiviset vaimentimet ovat tehokkaita vaimentamaan matalia taajuuksia, ja ne soveltuvat käytettäväksi vain pienillä kanavilla. [1, s. 81-82.]

## 5 AKUSTINEN SUUNNITTELU

Ääniolosuhteet muodostavat yhden tärkeimmistä rakennuksen ja tilan ominaisuuksista. Hyvillä ääniolosuhteilla edistetään sitä toimintaa, mihin tila on tarkoitettu. Tilan käyttötarkoitus on rakennushankkeessa kaiken suunnittelun lähtökohta. Rakennus tulee suunnitella käyttäjän tarpeisiin nähden mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti ottaen huomioon sekä teknisten ja taloudellisten edellytysten sallimat puitteet että turvallisuuden ja terveellisuuden vaatimukset. [3, s. 9.]

Ensimmäinen lähtökohta akustiseen suunnitteluun on rakennuksen ja tilan käyttötarkoitus. Käyttötarkoitus määrää seuraavat kriteerit [3, s. 9]:

- tilan muodon
- vaatimuksiltaan erilaisten tilojen keskinäisen sijainnin
- vaatimukset huoneakustiikalle
- ääneneristystarpeen
- rakennuksen teknisiltä laitteilta sallittavat äänitasot.

Akustisen suunnittelun perustana on melun vaikutus ihmiseen. Melu vaikuttaa yhtälailla viihtyvyyteen kuin terveyteenkin. Meluisassa tilassa on vaikea keskittyä, ja pitkäaikainen melu voi vaikuttaa kuuloaistiin tai puhujan puhekykyyn. Tilan terveelli-

syys melun kannalta ei vielä takaa tilan viihtyvyyttä, sillä täysin hiljaista ja kaikumatonta tilaa ei koeta viihtyisäksi. Kuuloaistin ominaisuuksista, kommunikaation edellytyksistä ja tilan käyttötarkoituksesta voidaan johtaa akustiselle suunnittelulle kolme tavoitetta: tarkoituksenmukaisuus, terveellisyys sekä viihtyisyys. [3, s. 9.]

## 5.1 Akustiikka oppilaitoksissa

Oppilaitosten kaikkien tilojen ääniolosuhteet vaikuttavat merkittävästi oppilaiden ja henkilökunnan viihtyvyyteen ja työolosuhteisiin. Tästä syystä näiden tilojen suunnittelijoilla tulee olla riittävä tietämys akustiikasta. Maankäyttö-, rakennus- ja opetuslain sekä rakentamismääräysten perusteella oppilaitosten opetustilojen akustiselle suunnittelulle on johdettavissa seuraavia tavoitteita, jotka koskevat oppilaiden oppimista sekä opetustilojen viihtyisyyttä ja terveellisyyttä oppilaiden ja opettajien kannalta [2, s. 7-8]:

- Opetustiloissa pitää olla puheen erottavuuden kannalta riittävän hyvät ääniolosuhteet oppimisen mahdollistamiseksi
  - Tilan toimintaa vastaava jälkikaiunta-aika ja STI – arvo
- Tiloja ympäröivien rakenteiden ääneneristävyyden pitää olla riittävän hyvä, jotta saavutetaan riittävä työrauha, eivätkä muista tiloista kantautuva melu häiritse oppimista ja keskittymistä
  - Kiinnitetään huomiota väliseinien rakenteisiin, tiiviytteen ja LVIS - tekniikan läpivienteihin.
- Tilat, joissa äänitaso kohoaa korkeaksi, äänitaso on pyrittävä alentamaan oppilaiden ja opettajien kuulon suojaamiseksi. Esimerkiksi teknisen työn opetustilat
  - Meluisat tilat sijoitetaan erilleen muista opetustiloista

Opetustila ei saa aiheuttaa vaaraa oppilaiden tai opettajien fyysiselle terveydelle. Opetustiloissa ääniolosuhteet tulee olla sellaiset, että opettaja voi tehdä työtään rasittamatta ääntään

  - Oikea jälkikaiunta-aika ja STI – arvo sekä matala taustamelu
- Oppilashuollon tiloissa, joissa käsitellään luottamuksellisia asioita, ääniolosuhteiden on taattava asioiden säilyminen luottamuksellisena. Esimerkiksi terveydenhuollon tilat

- Viihtyisät ja rauhalliset ääniolosuhteet oleskelutiloissa kannustavat rauhalliseen käytökseen ja äänenkäyttöön.

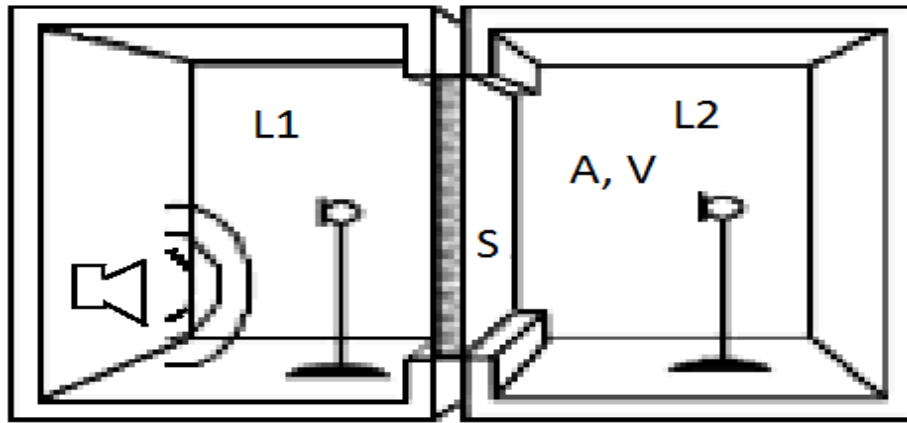
Oppilaitoksissa ääniolosuhteisiin voidaan vaikuttaa paljon tilojen sijoittelulla. Sijoittelussa on kiinnitettävä huomiota meluisten tilojen ja hiljaisuutta vaativien tilojen sijoitukseen. Meluisia tiloja ovat esimerkiksi teknisen työn, musiikin opetustilat, auditoriot ja liikuntasalit. Näistä useat tilat edellyttävät myös, että viereisistä tiloista ei kantaudu häiritsevää melua, joka haittaa tilan käyttötarkoitusta. Edullisinta on sijoittaa meluisat ja hiljaisuutta vaativat tilat muista tiloista erilleen. Esimerkiksi liikuntasali ja teknisen työn tilat voidaan erottaa muusta rakennuksesta sijoittamalla ne erillisiin siipiin. [2, s. 11-12.]

Akustisesti vaativan tilan suunnittelussa on varauduttava siihen, että rakenteet ovat tavanomaisesta poikkeavia, jotta riittävä ääneneristävyys saavutetaan. Rakenteiden paksuus kasvaa normaalista ja esimerkiksi lattia voidaan joutua tekemään kelluvaksi, jotta äänen siirtyminen saadaan estettyä kunnolla. Myös LVIS-järjestelmät vaativat monesti erikoisempia ratkaisuja äänen sivutiesiirtymisen estämiseksi, ja näin ollen ne tarvitsevat tilaa normaalia enemmän mm. lisääntyvien äänenvaimentimien takia. [2, s. 11-12.]

## **5.2 Luokkahuoneiden akustiikka**

### **5.3 Ilmaääneneristys**

Ilmaääneneristys,  $R$  [dB], tarkoittaa rakenteen kykyä eristää äänen välittymistä viereiseen tilaan. Rakennusosalle ilmanääneneristys,  $R$ , määritellään laboratoriossa äänenpainetason mittauksiin perustuvalla menetelmällä ISO 140-3. Mittauksessa käytettävien laboratoriohuoneiden rakenteiden tulee olla toteutettu siten, että niiden kautta kantautuva äänitehotaso on vähintään 6dB alempi kuin tutkittavan rakennusosan välittämä tehotaso. Pyritään siis siihen, että lähetyshuoneessa tuotettu ääni tulisi kokonaan tutkittavan rakenneosan läpi vastaanottohuoneeseen. Kuvassa 3 on esitetty laboratorio-mittausten periaatekuva. [3, s. 58.]



KUVA 3. Ilmaääneneristävyyden mittaus laboratoriossa

Mittauksista saatujen tulosten avulla voidaan laskea rakenneosan ilmaääneneristävyys,  $R$ , seuraavasti:

$$R = L_{p,1} - L_{p,2} + 10 * \log_{10} \frac{S}{A_2} \quad (8)$$

$$A_2 = 0,16 * \frac{V_2}{T_2} \quad (9)$$

$R$	ilmaääneneristävyys, dB
$L_{p,1}$	lähetyshuoneen äänenpainetaso, dB
$L_{p,2}$	vastaanottohuoneen äänenpainetaso, dB
$S$	tiloja erottavan rakennusosan pinta-ala, $m^2$
$A_2$	vastaanottohuoneen absorptio pinta-ala, $m^2$ -Sab
$V_2$	vastaanottohuoneen tilavuus, $m^3$
$T_2$	vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika, s

#### 5.4 Ilmaääneneristysluku

Ilmaääneneristävyys riippuu taajuudesta. Tästä syystä sen käsittely käytännössä on hieman vaikeaa, koska mittaukset tehdään yleensä 16 tai 21 yhdellä eri taajuuskaistalla. Tästä syystä on kehitetty pelkistetty yksinumeroinen esitystapa, ilmaääneneristysluku, josta käytetään merkintää  $R_w$ .  $R_w$ -arvo määritetään standardin ISO 717-1 mukaan. [3, s. 59.]

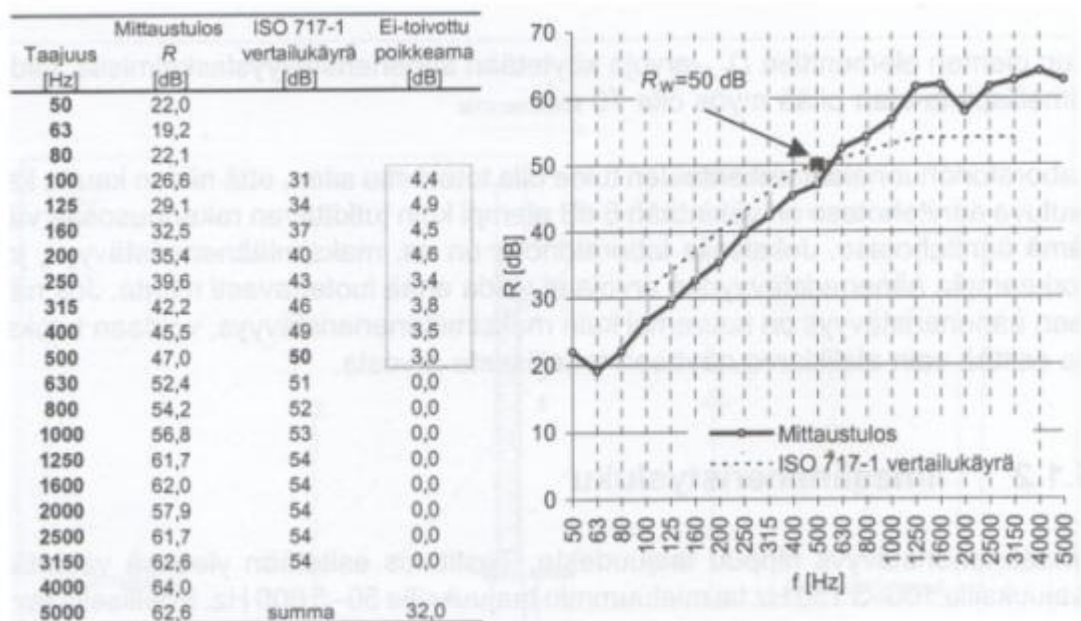
Ilmaääneneristysluku ei ole ilmaääneneristävyysarvojen keskiarvo, vaan eräänlainen painotettu keskiarvo. Standardi ISO 717-1 esittää erityisen vertailukäyrän, jonka muoto perustuu ylhäältä puheäänien taajuusjakaumaan ja toisaalta korvan herkkyyteen.

Lähtökohtana ilmaääneneristysluvun kehitykselle on ollut kysymys siitä, miten hyvin rakenteet eristävät puheääntä asuinhuoneistojen välillä. Samalla on otettu myös huomioon ihmiskorvan herkkyyys äänille. Tästä syystä ääneneristävyys edellyttää korkeampia ääneneristysarvoja korkeilla taajuuksilla kuin matalilla taajuuksilla. [3, s. 59-60.]

Taulukossa 18 katkoviivalla on merkitty vakiomuotoista vertailukäyrää ja normaalilla viivalla mittauksissa saatuja tuloksia.  $R_w$ :n lukuarvo saadaan siirtelemällä vertailukäyrää 1 dB:n askelin sen yläpuolelle mahdolliseen asentoon, jossa ei-toivottujen poikkeamien summa ei ylitä arvoa 32 dB. Ei-toivottu poikkeama tapahtuu, kun mittaustulosten käyrä on vertailukäyrän alapuolella. Kun vertailukäyrän ylin kohta on saavutettu, luetaan  $R_w$  arvo vertailukäyrältä 500 Hz taajuudella. [3, s. 60.]

Kentällä tehtävissä mittauksissa ei voida todeta yksittäisen rakenneosan, kuten seinän tai oven,  $R_w$ -arvoa. Kentällä tehtävissä mittauksista saadaan arvo  $R'_w$ .  $R'_w$  ilmoittaa tilojen välissä olevan rakenteen, sivutiesiirtymien, LVIS-läpivientien ja järjestelmien yhdistetyn ilmaääneneristysluvun. Rakentamismääräykset ja suositukset esitetään  $R'_w$ :n arvolle. [3, s. 60.]

**TAULUKKO 18. Ilmaääneneristävyyden määrittäminen [3, s. 60]**





## 6 MITTAUSMENETELMÄT JA –LAITTEISTOT

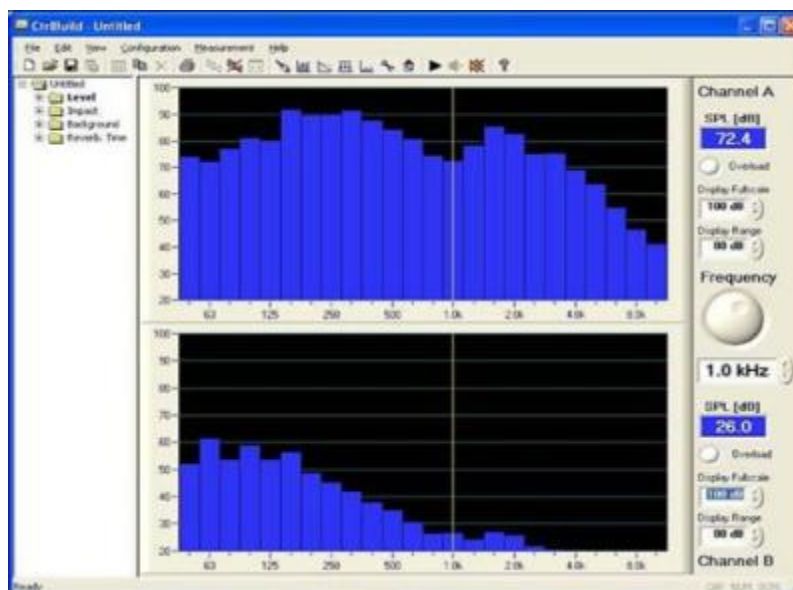
### 6.1 Mittalaitteet

Molemmat mittaukset suoritettiin Norsonicin äänianalysointilaitteilla. Mittareiden mallit olivat Nor140 (kuva 4) ja Nor118 (kuva 4). Rakenteiden ääneneristävyyttä mitattaessa äänilähteenä käytettiin Norsonicin Nor275-kaiutinta (kuva 4). Nor275 on kuusielementtinen puoliympyrän muotoinen kaiutin. Sekä äänitasomittareita että kaiutinta ohjattiin kannettavan tietokoneen avulla käyttäen apuna Norsonicin CtrlBuild-ohjelmistoa. Ohjelmasta valittiin haluttu mitattava suure, käytettävät taajuudet ja mittauksen kesto. Tämän jälkeen ohjelma suoritti mittauksen itsenäisesti. Mittausta seurattiin tietokoneen näytöltä koko ajan reaaliaikaisesti. Näin voitiin huomata heti, jos mittaustulokseen vaikutti, joku häiriötekijä esim. rakennuksen ohikulkeva auto. Jos häiriötekijän vaikutusta havaittiin, mittaus keskeytettiin ja suoritettiin uudestaan.



KUVA 4. Vasemmalla Nor140, keskellä Nor118, oikealla Nor275 [10]

Kuvassa 5 on näkymä CtrlBuild, ohjelmasta. Siniset palkit kuvaavat äänenvoimakkuutta kullakin terssikaistalla. Ohjelma seurasi molempia käytössä olleita äänianalysointoreita reaaliaikaisesti.



**KUVA 5. Norsonic CtrlBuild ohjelmisto [11]**

Tulosten käsittelyssä käytettiin apuna Microsoftin Exceliä ja Norsonicin NorBuild-ohjelmistoja. Exceliä käytettiin ilmanvaihdon äänenpainetasolaskuissa ja Norbuildia hyödynnettiin rakenteen ilmaääneneristävyyksluvun selvittämisessä.

## 6.2 Ilmanvaihdon äänitasomittaus

Ilmanvaihdon tuottama äänitaso saadaan selville mittaamalla ensin tilojen äänitasot ilmanvaihdon käydessä ja tämän jälkeen ilmanvaihto sammutettuna. Näiden kahden äänitason logaritminen erotus on ilmanvaihdon aiheuttama äänenpainetaso.

Mittauksessa on tärkeää, että saadaan eliminoitu kaikki ylimääräiset ja mahdollisesti mittauksia vääristävät äänilähteet. Tämän takia mittaukset on hyvä suorittaa toimisto-aikojen ulkopuolella. Näin saadaan karsittua tilojen käyttäjistä aiheutuva melu ja mahdollinen ulkoa kantautuva liikennemelu.

Mittaukset suoritettiin molemmilla mittareilla yhtä aikaa, ja jokainen mittaus kesti 30 sekuntia. Varmuuden vuoksi jokainen mittaus suoritettiin kolme kertaa, joten yhteensä äänitasotuloksia saatiin kuudesta mittaussarjasta. Tietokoneohjelmisto suoritti mitta-

ukset 1/3-oktaavikaistoittain eli terssikaistoin. Taajuusalue kattoi taajuudet aina 50 Hz – 10000 Hz. Ilmanvaihdon äänenpainetasomittaukset suoritetaan normaalisti oktaavikaistoilla välillä 63 – 4000 Hz. Tästä syystä tulosten tarkastelussa on jouduttu ensin muuttamaan tulokset oktaavikaistaisiksi. Muutos saadaan tehtyä laskemalla oktaavikaistan keskitaajuutta vastaavan terssikaistan äänenpainetaso yhteen edellisen ja seuraavan terssikaistan äänenpainetason kanssa [3, s. 38.].

### 6.3 Rakenteiden ääneneristävyysmittaus

Rakenteiden ääneneristävyyttä mitattaessa valittiin kahdesta tilasta toinen lähetyshuoneeksi ja toinen vastaanottohuoneeksi. Tiloista pienempi toimii lähetyshuoneena ja isompi tila vastaanottohuoneena. Aivan ensimmäiseksi mitattiin vastaanottohuoneen taustäänitaso. Tämä mittaus suoritettiin samalla tavalla kuin ilmanvaihdon taustäänitason mittaus eli tuloksia saatiin yhteensä kuudesta mittaukskerrasta. Toisessa mittauksessa tarkoituksena oli selvittää vastaanottohuoneen absorptiopinta-ala,  $A_2$ . Tässä mittauksessa äänilähde sijoitettiin vastaanottohuoneeseen yhden äänitasomittarin kanssa. Äänilähteen ja –tasomittarin avulla selvitettiin vastaanottohuoneen jälkikaiunta-aika,  $T_2$ . Mittaus tehtiin tietokoneohjattuna ja se suoritettiin 3 kertaa. Jälkikaiuntaajan ja vastaanottohuoneen tilavuuden avulla saatiin selville huoneen absorptiopinta-ala, kuten voidaan todeta kaavasta 9. Tämän jälkeen voitiin siirtyä mittaamaan itse rakenteen ääneneristävyyttä,  $R'$ . Tässä vaiheessa äänilähde ja yksi äänitasomittari siirrettiin lähetyshuoneeseen ja vastaanottohuoneeseen asetettiin yksi äänitasomittari. Tämän jälkeen tietokone ohjasi äänilähteen lähettämään ääntä 30 sekunnin ajan, jonka äänenpainetaso lähetyshuoneessa oli n. 100 dB. Tästä mittauksesta saatiin tuloksena lähetyshuoneessa vallitseva äänenpainetaso  $L_{p1}$  ja vastaanottohuoneessa vallitseva äänenpainetaso  $L_{p2}$ . Näiden kolmen mittauksen jälkeen kasassa oli kaikki tarvittavat suuret rakenteen ääneneristävyden laskemiseen, kuten voidaan todeta kaavasta 4.

Kaikkien kolmen mittauksen tiedot yhdistettiin tietokoneella NorBuild-ohjelmistolla. Tietojen avulla ohjelmisto sovitti mittauksen tuottaman rakenteen ääneneristävyyskäyrän ISO 717-1 mukaisen vertailukäyrän kanssa oikeaan asentoon ja näin saatiin selville rakenteen ilmaääneneristävyysluku  $R'_w$ .

## 7 TUTKIMUSKOHDE

Tutkittava koulurakennus sijaitsee Mikkeliissä raviradantiellä. Koulu on peruskorjattu ja laajennettu vasta valmistuneessa remontissa. Rakennuksen peruskorjattu osa on rakennettu 1980-luvulla ja remontin yhteydessä rakennuksen ilmanvaihtoa uusittiin vastamaan nykyaikaisia määräyksiä. Vanhan osan viereen rakennettiin uusi siipi, jotta koulurakennuksella olisi parempi mahdollisuus palvella oppilaita aina 1. luokasta 9. luokkaan asti. Uusi koulu aloitti toimintansa elokuussa 2011.

Rakennukselle on asetettu määräyksiä kovempi sisäilmaston vaatimustaso S2. Luokan S2 vaatimukset vaativat mm. suurempia ilmamääriä, mutta äänitekniset vaatimukset vastaavat rakennusmääräysten minimivaatimuksia.

Sisäilmastoluokassa S2 luokkahuoneissa vaikuttava ilmanvaihdon äänitaso saa olla 33 dB. Ilmaääneneristysluku  $R'_w$  luokkahuoneiden välillä tulee olla 44 dB, kun luokkahuoneiden välissä on ehjä seinä ja, kun luokkahuoneiden välissä on ovi, tulee ääneneristävyyden olla vähintään 34 dB. Käytävän ja luokkahuoneen välinen ilmaääneneristysluku tulisi olla myös 34 dB. Jälkikaiunta-aika luokkahuoneissa tulee olla välillä 0,6-0,8 s. Jälkikaiunta-ajan raja-arvot koskevat taajuuskaistoja 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz. Taajuuskaistalla 125 Hz arvo saadaan ylittää 50 % :lla.

## 8 ILMANVAIHDON ÄÄNITASOMITTAUSTEN TULOKSET

Seuraavissa tilakohtaisissa kappaleissa ilmoitetaan tilaan aiheutuva ilmanvaihdon äänitaso, tutkitaan tilan päätelaitteiden toimintapisteitä ja mahdollista päätelaitteiden äänenkehitystä. Kappaleessa 8.12 käsitellään ilmanvaihdon muita mahdollisia äänilähteitä ja kootaan tuloksista yhteenveto. Ilmanvaihdon ilmamäärät on mitannut ART-talotekniikka ja tulosten tarkastelussa on käytetty ilmavirtoja heidän toimittamista mittauspöytäkirjoista.

### 8.1 Luokkahuone E119

Luokkahuoneessa E119 poistoilman päätelaitteena on Halton EVA-500-150-säleikkö ja tuloilman päätelaitteina on kaksi Straventin S11-200-1250-suutinputkea. Suutin-

putket sijaitsevat luokkahuoneen päätyseinillä katon rajassa ja poistoilmasäleikkö sijaitsee käytävä seinustalla katon rajassa. Taulukosta 19 selviää luokkahuoneen suunnitellut ja mitatut ilmavirrat sekä painehäviöt ja säätöarvot.

**TAULUKKO 19. Luokkahuoneen E119 päätelaitteiden toiminta-arvot**

Päätelaite	Suunniteltu [dm <sup>3</sup> /s]	Mitattu [dm <sup>3</sup> /s]	Painehäviö [Pa]	Säätöarvo
EVA-500-150	-120	-116	71	4
S11-200-1250	+60/+60	-	57/62	-

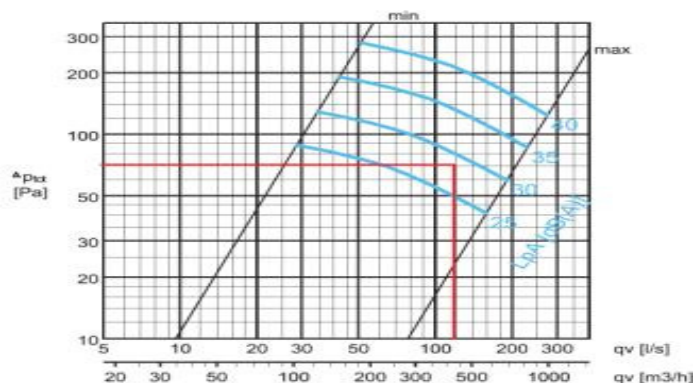
Luokkahuoneen E119 äänenpainetasot ilmanvaihdon ollessa käynnissä ja sammutettuna sekä laskettu ilmanvaihdon äänenpainetaso ilmenevät taulukosta 20. Liitteessä 1 on esitetty tilan E119 mittaustulokset.

**TAULUKKO 20. Luokkahuoneen E119 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
44	17	44

Määräyksiin liitettyjen ohjeiden mukaan tilassa LVIS-järjestelmät saisivat aiheuttaa maksimissaan 33 dB äänitason. Taulukossa 21 on esitetty poistoilmapäätelaitteen toimintapiste päätelaitteen mitoitusaulukossa. Poistoilmapäätelaitteesta mitatuilla ilmavirralla ja painehäviöllä päätelaitteen pitäisi aiheuttaa tilaan n. 28 dB ja tuloilmapäätelaitteiden n. 25 dB suuruinen äänitaso, tilaan kuitenkin aiheutuu ilmanvaihdosta 44 dB suuruinen äänitaso. Näin ollen tilan päätelaitteiden ei pitäisi toimia äänilähteinä.

**TAULUKKO 21. Luokkahuoneen E119 poistoilmasäleikön toimintapiste**



## 8.2 Luokkahuone E120

Luokkahuoneessa E120 ilmanvaihto on toteutettu vastaavasti kuin luokkahuoneen E119 ilmanvaihto. Taulukosta 22 selviää luokkahuoneen E120 suunnitellut ja mitatut ilmavirrat sekä painehäviöt ja säätöarvot.

**TAULUKKO 22. Luokkahuoneen E120 päätelaitteiden toiminta-arvot**

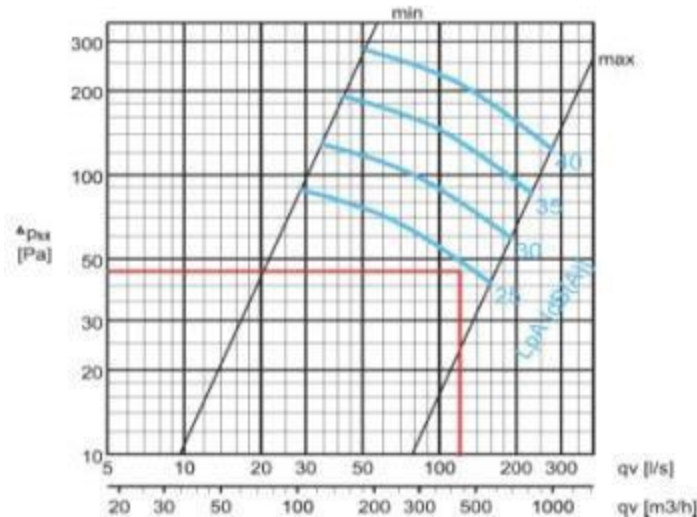
Päätelaite	Suunniteltu [dm <sup>3</sup> /s]	Mitattu [dm <sup>3</sup> /s]	Painehäviö [Pa]	Säätöarvo
EVA-500-150	-120	120	40	6
S11-200-1250	+60/+60	-	64/52	-

Luokkahuoneen E120 äänenpainetasot ilmanvaihdon ollessa käynnissä ja sammutettuna sekä laskettu ilmanvaihdon äänenpainetaso ilmenevät taulukosta 23 Liitteessä 2 on esitetty tilan E120 mittaustulokset.

**TAULUKKO 23. Luokkahuoneen E120 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
44	21	44

Taulukossa 24 on esitetty luokkahuoneen E120 poistoilmasäleikön toimintapiste. Tilassa vallitsee 44 dB suuruinen äänitaso ja mitattujen suoritusarvojen perusteella poistoilmapäätelaitteen tulisi tuottaa n. 24 dB ja tuloilmalaitteiden n. 26 dB suuruinen äänitaso. Päätelaitteiden äänitasot yhdessä ei riitä tuottamaan mitattua 44 dB äänitasa.

**TAULUKKO 24. Luokkahuoneen E120 poistoilmasäleikön toimintapiste.**

### 8.3 Luokkahuone E115

Luokkahuone E115 vastaa suunnitelmiltaan täysin luokkahuoneita E119 ja E120. Taulukossa 25 on lueteltu tilan E115 päätelaitteiden suunnitellut ja mitatut toiminta-arvot.

**TAULUKKO 25. Luokkahuoneen E115 päätelaitteiden toiminta-arvot**

Päätelaite	Suunniteltu [dm <sup>3</sup> /s]	Mitatettu [dm <sup>3</sup> /s]	Painehäviö [Pa]	Säätöarvo
EVA-500-150	-120	120	75	4
S11-200-1250	+60/+60	-	55/63	-

Luokkahuoneen E115 äänenpainetasot ilmanvaihdon ollessa käynnissä ja sammutettuna sekä laskettu ilmanvaihdon äänenpainetaso ilmenevät Taulukosta 26. Liitteessä 3. on esitetty tilan E115 mittaustulokset.

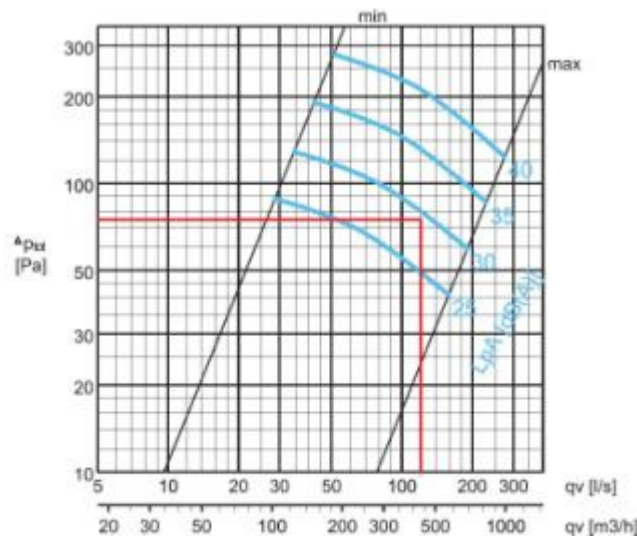
**TAULUKKO 26. Luokkahuoneen E115 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
42	23	42

Taulukossa 27. esitetään luokkahuoneen E115 poistoilmasäleikön toimintapiste. Tilassa ilmavaihdon aiheuttamaksi äänitasoksi saadaan 42 dB. Mitatun tilavuusvirran ja painehäviön mukaan poistoilmapäätelaite tuottaa tilaan n. 29 dB suuruisen äänitason.

Suunniteltua ilmavirtaa ja mitattua painehäviötä avuksi käyttäen valmistaja ilmoittaa tuloilmapäätelaitteen äänitasoksi 25 dB. Mitattujen/suunniteltujen ilmavirtojen ja painehäviöiden mukaan päätelaitteet eivät tuota tilassa mitattua äänitasoa.

**TAULUKKO 27. Luokkahuoneen E115 poistoilmasäleikön toimintapiste**



#### 8.4 Toimisto/puheterapia E132

Tila toimii yhden henkilön toimistona ja samalla puheterapia huoneena. Huoneen ilmanvaihto on toteutettu yhdellä Straventin suutinputkella ja kahdella Fläktwoods KSO-poistoilmaventtiilillä. Taulukossa 28. on esitetty tilan päätelaitteiden arvoja.

**TAULUKKO 28. Toimisto E132 päätelaitteiden toiminta-arvot**

Päätelaite	Suunniteltu [dm <sup>3</sup> /s]	Mitattu [dm <sup>3</sup> /s]	Painehäviö [Pa]	Säätöarvo
KSO-125	-20	-21	61	+0
KSO-125	-20	-2	61	+0
S11-160-900	+40	-	75	-

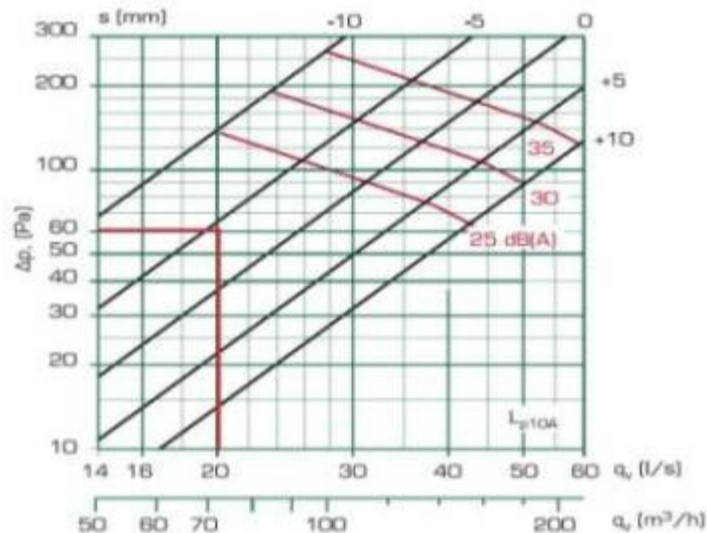
Tilan E132 äänenpainetasot ilmanvaihdon ollessa käynnissä ja sammutettuna sekä laskettu ilmanvaihdon äänenpainetaso ilmenevät Taulukosta 29. Liitteessä 4. on esitetty tilan E132 mittaustulokset.



**TAULUKKO 29. Toimisto E132 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
33	28	31

Taulukossa 30. on esitetty toimiston E132 poistoilmapäätelaitteiden toimintapiste. Tilasta mitattiin ilmanvaihdon tuottamaksi äänitasoksi 31 dB, joten tila täyttää määräyksien ohjeiden asettamat vaatimukset. Mitatun tilavuusvirran ja painehäviön perusteella yhden päätelaitteen pitäisi tuottaa tilaan n. 20 dB suuruinen äänitaso eli kahden samansuuruisia ääntä tuottavan päätelaitteen tuottama yhteinen äänitaso olisi n. 23 dB. Tuloilmapäätelaitteen tuottama äänitaso on valmistajien tietojen mukaan n. 25 dB.

**TAULUKKO 30. Toimistohuone E132 päätelaitteiden toimintapiste**

## 8.5 Ryhmätila E136

Ryhmätilahuoneessa E136 tuloilma tuodaan tilaan toiselta sivuseinältä yhdellä Straventin suutinputkella ja poistoilmaventtiilinä on Haltonin EVA-poistoilmasäleikkö.

Taulukossa 31. on esitetty tilan päätelaitteiden toiminta-arvoja.

**TAULUKKO 31. Ryhmätila E136 päätelaitteiden toiminta-arvot**

Päätelaite	Suunniteltu [dm³/s]	Mitattu [dm³/s]	Painehäviö [Pa]	Säätöarvo
EVA-300-150	-80	-80	82	5
S11-250-1250	+80	-	86	-

Tilan E136 äänenpainetasot ilmanvaihdon ollessa käynnissä ja sammutettuna sekä laskettu ilmanvaihdon äänenpainetaso ilmenevät Taulukosta 32. Liitteessä 5. on esitetty tilan E136 mittaustulokset.

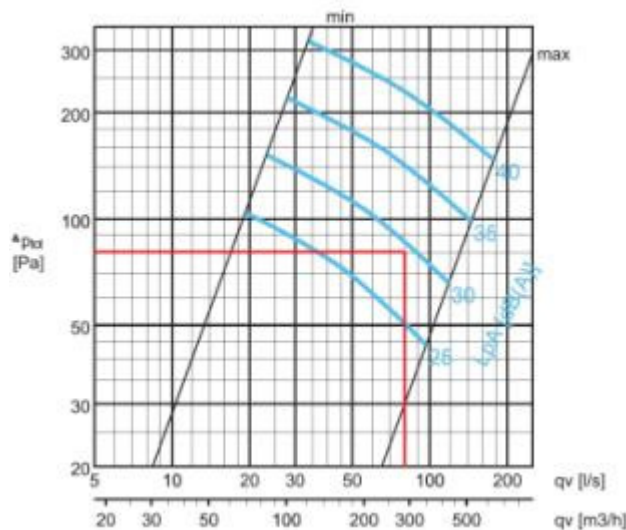
**TAULUKKO 32. Ryhmätila E136 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
46	23	46

Taulukossa 33. on esitetty ryhmätilan E136 poistoilmalaiteen toimintapiste. Tilasta mitattiin ilmanvaihdon aiheuttamaksi äänitasoksi 46 dB, mikä ylittää määräyksien antamat ohjearvot 13 dB:llä. Mitatun ilmavirran ja painehäviön perusteella poistoilmapäätelaitteen pitäisi tuottaa tilaan n. 29 dB suuruinen äänitaso ja tuloilmapäätelaitteen n. 28 dB, joten päätelaitteiden ei pitäisi suunnitelmien mukaan toimia äänilähteenä.

Tilassa on korvakuulolla havaittavissa ääni, joka johtui tilojen välisistä painesuhteista. Tilan ovia sulkiessa tuntuu ilmavirran aiheuttama vastustava voima ja ovien ollessa kiinni ilmavirta aiheuttaa viheltävän äänen virratessaan ovi aukkoon jäävistä raoista. Ääniongelman voisi korjaantua tässä tilassa pelkillä painesuhteiden korjaamisella.

**TAULUKKO 33. Ryhmätila E136 poistoilmasäleikön toimintapiste**



## 8.6 Luokkahuone C120

Luokkahuone C120 noudattaa ilmanvaihdon toteutukseltaan samaa kaavaa kuin E-siiven luokkahuoneet. Tilasta ei ollut saatavilla ilmamäärien mittaustuloksia. Liitteessä 6. on esitetty tilan C120 äänitasonmittauksen mittaustulokset. Tilan C120 äänenpainetasot ilmanvaihdon ollessa käynnissä ja sammutettuna sekä laskettu ilmanvaihdon äänenpainetaso ilmenevät Taulukosta 34. Tilassa ilmanvaihto aiheutti mittausten mukaan 25 dB äänitason. Tila täyttää määräyksien liitteiden asettamat ohjearvot.

**TAULUKKO 34. Luokkahuone C120 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
27	22	25

## 8.7 Luokkahuone D122

Luokkahuoneessa D120 ilmanvaihto on toteutettu vastaavasti kuin luokkahuoneessa C120 eli poistoilman päätelaite sijaitsee käytävä seinällä ja tuloilmaelimet luokkahuoneen päätyseinillä. Tilasta ei ollut saatavilla ilmamäärien mittaustuloksia. Liitteessä 7. on esitetty tilan D122 äänimittaustulokset. Luokkahuoneen D122 äänenpainetasot ilmanvaihdon ollessa käynnissä ja sammutettuna sekä laskettu ilmanvaihdon aiheuttama äänenpainetaso ilmenevät Taulukosta 35. Tilassa mitattu ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso alittaa määräyksien ohjearvon, 33 dB äänitason, 1 dB:llä.

**TAULUKKO 35. Luokkahuoneen D122 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
33	24	32

## 8.8 Luokkahuone D124

Luokkahuoneen D124 ilmanvaihdon toteutus eroaa muista tiloista poistoilmaventtiilien osalta. Tilassa poistoilmaventtiileinä ovat viisi Fläktwoods KSO-160-venttiiliä. Tuloilman osalta ilmanvaihto on vastaava kuin tilassa D122. Taulukosta 36 käy ilmi tilan ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso. Liitteessä 8 on esitetty tilan D124 mittaustu-

lokset. Tilassa ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso on yhtä suuri kuin määräysten ohjearvo eli 33 dB. Tilasta ei ollut saatavilla ilmamäärien mittaustuloksia.

**TAULUKKO 36. Luokkahuoneen D124 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
33	22	33

## 8.9 Luokkahuone D125

Luokkahuoneen D125 ilmanvaihto on toteutettu vastaavasti kuin tilan D122. Taulukossa 37 on esitetty tilassa mitattuja äänitasoja. Liitteessä 9 on esitetty tilan D125 mittaustulokset.

**TAULUKKO 37. Luokkahuoneen D125 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
37	22	37

Luokkahuoneessa ilmavaihdon aiheuttama äänitaso on 37 dB, ja näin ollen se ylittää määräyksien antaman ohjearvon 4 dB:llä. Tilasta ei ollut saatavilla ilmamäärien mittaustuloksia.

## 8.10 WC D129

Käytävällä sijaitseva poikien WC-huone valittiin mitattavaksi, koska tilasta kuului kova melu kauas käytävälle asti. Tilassa poistoilmaventtiilinä on Fläktwoods KSO-100. Taulukossa 38 on esitetty tilasta mitatut äänitasot. Liitteessä 10. on esitetty tilan D129 äänitasojen mittaustulokset.

**TAULUKKO 38. WC:n D129 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
65	17	65

Kuten mittauksetkin osoittavat, tilassa vallitseva äänitaso on todella suuri. Määräysten ohjeiden mukaan muiden kuin asuintilojen WC-tiloissa saisi vallita enintään 38 dB äänitaso. Määräyksien ohjearvot ylitetään tässä tilassa 27 dB:llä. Tilasta ei ollut saatavilla ilmamäärien mittaustuloksia. Luultavasti kuitenkin tilassa oleva venttiili aiheuttaa suuren painehäviön ja synnyttää tästä syystä ääntä.

### 8.11 Käytävä D126

Käytävällä on yksi Haltonin THA-160-tuloilmahajoittaja. Suunniteltu ilmamäärä laitteesta on 60 l/s. Myös käytävä valittiin mitattavaksi tilaksi korviin kantautuvan melun perusteella. Käytävällä oli selvästi havaittavissa ilmanvirtauksesta ja kanavan paineenvaihtelusta aiheutuvaa melua. Taulukossa 39 on esitetty käytävän ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso. Liitteessä 11. on esitetty tilan D126 äänitasojen mittaustulokset.

**TAULUKKO 39. Käytävän D126 äänenpainetasot**

Ilmanvaihto käynnissä [dB(A)]	Ilmanvaihto sammutettuna [dB(A)]	Ilmanvaihdon aiheuttama [dB(A)]
41	20	41

Määräyksien ohjeiden mukaan käytävälle saisi aiheutua LVIS-järjestelmistä 38 dB äänitaso. Tilasta ei ollut saatavilla ilmamäärien mittaustuloksia. Käytävälle kuuluva melu aiheutuu selvästi kanavan rungosta. Kanavan runkopelti joutuu luultavasti alttiiksi kovalle paineenvaihtelulle eli ilmavirta on liian suuri kyseiselle kanava koolle ja runko aiheuttaa tästä syystä ääntä.

### 8.12 Yhteenveto ilmanvaihdon äänitasomittauksista

Mitatuista 11 tilasta vain 4 täytti määräyksien asettamat ohjearvot LVIS-järjestelmien äänitasoille. Suurimmassa osassa mitatuista tiloista ohjearvot ylittyvät reilusti. Mitattujen ja suunniteltujen ilmamäärien avulla tarkasteltuna ilmanvaihdon päätelaitteet eivät toimi äänilähteenä tiloissa, vaan äänilähde sijaitsee muualla ilmanvaihto verkostossa.

Taulukossa 40 on esitetty eri kanttikanaville sopivia ilmavirtoja, joilla vältetään ääniongelmilta. Taulukossa punaisten viivojen sisässä ovat tulopuolen suurimmat ilma-

määrät (l/s) ja keltaisten viivojen sisässä poistupuolen suurimmat sallitut ilmamäärät (l/s). Rakennuksen D-osan käytävällä kulkee kanttikanava, jonka mitat ovat 500x400 eli pinta-ala on 0,2 m<sup>2</sup> ja ilmamäärä n. 1200 l/s. Ilman virtausnopeudeksi saadaan tällöin 6 m/s. Taulukon 41 perusteella kyseinen kanava käy liian pieneksi 1200 l/s ilmamäärällä. Vanhassa osassa saneerauksen yhteydessä on hyödynnetty vanhaa kanttikanavaa ilmanvaihdon runkokanavissa. Kun remontin yhteydessä on nostettu ilmamäärät vastaamaan nykymääräyksiä, käyvät vanhat runkokanavat liian ahtaiksi. Tästä aiheutuu käytävillä erottuva kanavien pauke ja samalla kanavistossa virtaava ilma kehittää ääntä.

**TAULUKKO 40. Kanttikanavien mitoitus taulukko**

Kanava	Pinta-ala, m <sup>2</sup>	Ilman nopeus					
		2	3	4	5	6	8
200x100	0,02	40	60	80	100	120	160
300x100	0,03	60	90	120	150	180	240
400x100	0,04	80	120	160	200	240	320
300x200	0,06	120	180	240	300	360	480
400x300	0,08	160	240	320	400	480	640
500x200	0,1	200	300	400	500	600	800
400x300	0,12	240	360	480	600	720	960
500x300	0,15	300	450	600	750	900	1200
600x300	0,18	360	540	720	900	1080	1440
600x400	0,24	480	720	960	1200	1440	1920

Tulopuoli    
  Poistupuoli

Käytävän D perimmäisissä luokissa D122 ja D124 äänitasot täyttyvät määräyksien antamat ohjearvot ilmanvaihdon äänitasojen kannalta, mutta käytävän alkupäässä olevassa luokassa D125 määräyksien ohjearvot ylitetään. Käytävän alkupään ja loppupään luokkahuoneiden äänitasojen ero viittaisi siihen, että äänilähde ei sijaitse yhteisessä runkokanavassa. Tästä syystä äänilähteenä ei luultavasti toimi säätöpellit tai puhallin. Luultavasti painetaso on liian korkea kanavistossa ja tästä syystä luokan D125 päätelaitteet kehittävät ääntä. Painetaso alenee saavuttaessa käytävän loppupään luokkiin, ja näin ollen päätelaitteet eivät kehitä näissä tiloissa häiritsevää ääntä. Lisäksi luokkaan D125 haarautuvat kanavat lähtevät aikaisemmin mainitusta 500x400 kanttikanavasta, joten myös mahdollinen virtauksesta syntyvä ääni voi kantautua helpommin tähän tilaan. Käytävällä D126 tehty äänitasomittaus tukee päätelmiä liian suuresta painetasosta.

Taulukossa 41 esitetään pyöreiden peltikanavien ohjeellisia mitoitusrajoja. Taulukossa kulkevia värillisiä viivoja ei tule ylittää, jotta kanaviston virtauksesta ei aiheudu ääniongelmia. Luokkahuoneita E119, E115 ja E120 palvelee sama ilmanvaihtokanavisto, kyseisen kanavarungon yhteisilmavirta on suunnitelmien mukaan 858 l/s ja kanavan halkaisija rungon alkupäässä 500 mm. Taulukon mukaan kanavan koko on oikeassa suhteessa ilmavirtaan. Seuraavaksi kanava pienenee kokoon 400 mm, ja ilmavirta on tällöin suunnitelmien mukaan 524 l/s. Tämäkin koko täyttää taulukon mukaisen mitoituksen. Kun samalla tavalla tarkastellaan kyseisen kanaviston tulo- ja poistopuoli, löytyy kaksi kohtaa, missä taulukon arvot ylitetään. Molemmat tapaukset ovat poistoilmakanavissa. EVA-poistoilmapäätelaitteiden kytkentäkanavat ovat kokoa 200 ja ilmavirta kanavissa 120 l/s. Taulukon mukainen raja-arvo ilmavirralla 200 mm kytkentäkanavassa on 95 l/s. Toinen raja-arvot rikkova kohta löytyy poistoilman haarakanavasta, jossa ilmavirta on suunnitelmien mukaan 344 l/s ja kanavan halkaisija 315 mm. Molemmat ilmamäärän ylitykset ovat suhteellisen pieniä eivätkä todennäköisesti ole pääsyynä E-siiven luokkiin kantautuvaan yli 40 dB ilmanvaihdon äänitasoon.

Seuraavat mahdolliset äänilähteet E-siiven kanavissa ovat ilmanvaihtokonehuoneessa sijaitsevat säätöpellit ja itse ilmanvaihtokone. Säätöpeltejä tulopuolella on yhteensä 3 kappaletta. Ilmavirtojen suhteet suunnitelmien mukaan näillä pelleillä on 858/2232/635 l/s. Suurten suhde-erojen takia pienempiä ilmavirtoja säätävät pellit joutuvat luomaan suuren paine-eron, jotta ilmavirta saadaan halutuksi. Suuren paine-eron seurauksena on korkea äänitaso. Säätöpelteiden jälkeen pitäisi olla äänenvaimentimet tällaisessa tilanteessa, jotta niissä mahdollisesti syntyvä ääniteho ei kantautuisi luokkahuoneisiin. Tällä hetkellä kanavistossa on äänenvaimentimet ainoastaan puhaltimien jälkeen. Poistoilmapuolella tilanne on täysin samankaltainen. Luultavasti E-siiven tiloihin kantautuva korkea ilmanvaihdon äänitaso aiheutuu säätöpelleistä tai puhaltimesta.

**TAULUKKO 41. Pyöreiden peltikanavien ilmamäärä ja painehäviö**

Kanavan halkaisija	Nopeus kanavassa m/s							
	2	3	4	5	6	7	8	
<b>80</b>	10	15	20	25	30	35	40	m <sup>3</sup> /s
	0,9	1,8	3	4,5	6,5	8	10	Pa/m
<b>100</b>	16	24	32	40	48	56	64	m <sup>3</sup> /s
	0,7	1,4	2,5	3	4,5	6	7,5	Pa/m
<b>125</b>	25	36	50	61	72	86	100	m <sup>3</sup> /s
	0,5	1,1	1,8	2,4	3,5	5	6	Pa/m
<b>160</b>	43	64	86	107	128	150	172	m <sup>3</sup> /s
	0,4	0,8	1,3	2	2,6	3,6	4,5	Pa/m
<b>200</b>	65	95	130	160	190	225	260	m <sup>3</sup> /s
	0,3	0,6	1	1,5	2	2,5	3,5	Pa/m
<b>250</b>	100	150	200	250	300	350	400	m <sup>3</sup> /s
	0,2	0,5	0,8	1,2	1,8	2,2	2,6	Pa/m
<b>315</b>	155	240	310	395	480	550	620	m <sup>3</sup> /s
	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,6	2	Pa/m
<b>400</b>	260	390	520	650	780	910	1040	m <sup>3</sup> /s
	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,3	1,6	Pa/m
<b>500</b>	400	620	800	1020	1240	1420	1600	m <sup>3</sup> /s
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	Pa/m
<b>630</b>		940	1250	1550	1880	2190	2500	m <sup>3</sup> /s
		0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	Pa/m
<b>800</b>		1560	2100	2600	3120	3660	4200	m <sup>3</sup> /s
		0,1	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	Pa/m

kytkentä  
kanavat

Haarakanavat

Runkokanavat

## 9 RAKENTEIDEN ÄÄNENERISTÄVYYS MITTAUSTULOKSET

### 9.1 Huoneiden D122 ja D123 välinen ääneneristävyys

Mittauksessa lähetyshuoneena toimii D122 ja vastaanottohuoneena D123. D122 toimii luokahuoneena ja D123 on ryhmätila. Tiloja erottava rakenne on pinta-alaltaan 20,9 m<sup>2</sup>. Huoneiden välinen rakenne on pääosin betonia, mutta välissä on myös ikkunallinen ovi ja oven päällä sijaitseva yläikkuna. Lisäksi seinän lävistää ilmanvaihto kanava, joka on halkaisijaltaan 200 mm.

Huoneiden väliseksi ilmaääneneristävyyksiluvuksi  $R'_w$  saatiin 30 dB. Rakennukselle asetetun vaatimustason mukaan luokahuoneiden ja niihin rinnastettavan tilan välisen rakenteen ilmaääneneristävyytluku tulisi olla 34 dB, kun niiden välissä on ovi. Kun tilojen välillä on ovi, pitäisi vaatimusten mukaan käyttää ovea, jonka  $R'_w$ -arvo on 30 dB. Tilojen välissä oleva ikkunallinen ovi ei täytä tätä vaatimusta. Mittaustulosta heikentää oleellisesti myös seinän lävistävä ilmanvaihtokanava. Kanavassa ei ole minikäänlaista äänenvaimenninta, joten ääni pääsee esteettömästi etenemään toiseen huoneeseen kanavan kautta. Tällaisissa tapauksissa kanavassa pitäisi aina olla äänen-



vaimennin, joka on sijoitettu aivan seinään kiinni, jotta kaikki kanava kautta kulkeutuva ääni joutuisi kulkemaan äänenvaimentimen lävitse.

Vastaanottohuoneen D123 jälkikaiunta-aika taajuuskaistoittain on esitetty taulukossa 42. Vaatimusten mukaan akustiselta luokituksestaan C olevan luokkahuoneen jälkikaiunta-aika tulisi olla välillä 0,6-0,8 s taajuuskaistoilla 250-4000 Hz ja taajuuskaistalla 125 Hz arvo voidaan ylittää 50 %. Raja-arvo 0,8 s on yläraja jälkikaiunta-ajalle ja arvo 0,6s ilmoittaa akustisen luokituksien välisen raja-arvon eli pieni alitus ei ole haitallista. Tuloksista vain 2000 Hz taajuuskaista ylittää vaatimuksen 0,01 sekunnilla eli aivan niukasti.

Mittaustilanteessa tila oli täysin kalustettu, joten tilan absorptiopinta-ala eroaa suunnitellusta. Kun luokkahuoneeseen tuodaan sen käyttötarkoituksen mukainen henkilömäärä, laskee tilan jälkikaiunta-aika n. 0,1s. Tilan absorptiopinta-ala on näin ollen hieman alimitoitettu. Tilojen välisen ääneneristävyyden ja tilan D123 jälkikaiunta-ajan mittaustulokset on esitetty liitteessä 12.

**TAULUKKO 42. Luokkahuoneen D123 jälkikaiunta-ajat**

Taajuus [Hz]	Mitattu jälkikaiunta-aika, T [s]
125	1,06
250	0,61
500	0,56
1000	0,68
2000	0,81
4000	0,68

## 9.2 Huoneiden D124 ja D125 välinen ääneneristävyys

Mittauksessa lähetyshuoneena toimii D124 ja vastaanottohuoneena D125. Mittauksen molemmat tilat ovat luokkahuoneita. Tiloja erottavan rakenteen pinta-ala on 18.9 m<sup>2</sup> ja rakenne on kokonaan betonia, mutta sen lävistää halkaisijaltaan 250 mm ilmanvaihtokanava.

Tilojen välinen ilmaääneneristysluku  $R'_w$  mitattiin 37 dB. Luokkahuoneiden välisen ilmaääneneristysluku  $R'_w$  tulisi vaatimuksen mukaan olla 44 dB. Mittaustulosta

heikentää oleellisesti tilojen välisen seinän lävistävä ilmanvaihtokanava, jossa ei ole äänenvaimenninta. Tällaisessa kanavointiratkaisussa ilmanvaihtokanava olisi ehdottomasti varustettava äänenvaimentimella.

Taulukossa 43 on esitetty luokkahuoneen D125 jälkikaiunta-ajat. Tilojen välisen ääneneristävyyden ja tilan D125 jälkikaiunta-ajan mittaustulokset on esitetty liitteessä 13. Tilassa jälkikaiunta-aika ylittää vaatimusten mukaisen raja-arvon 0,8s taajuuskaisella 2000 Hz. Mittaustilanteessa tila oli täysin kalustettu, mutta tilassa ei ollut henkilöitä yhtään. Henkilöiden lisäys tilaan laskee jälkikaiunta-aikaa n. 0,1s, tällöin tilan jälkikaiunta-aika alenisi lähes vaatimusten vaatimalle tasolle. Tilan absorptiopinta-alassa on pienoinen puute vaatimuksiin nähden. Lisäksi tila oli mittaustilanteessa täysin kalustettu, joten tämä parantaa saatuja tuloksia hieman.

**TAULUKKO 43. Luokkahuoneen D125 jälkikaiunta-ajat**

Taajuus [Hz]	Mitattu jälkikaiunta-aika, T [s]
125	0,98
250	0,67
500	0,60
1000	0,70
2000	0,92
4000	0,73

### 9.3 Käytävän D126 ja luokkahuoneen D124 välinen ääneneristävyys

Mittauksessa käytävä toimii lähetyshuoneena ja luokkahuone D124 vastaanottohuoneena. Tiloilla on yhteistä seinäpinta-alaa 22,2 m<sup>2</sup>. Seinän lävistää viisi 160 mm ja yksi 250 mm ilmanvaihtokanava. Lävistykset ovat käytävän puolella piilossa alas lasketun katon yläpuolella. Tilojen välillä on myös ovi.

Mittauksessa ilmanääneneristävyyksiluvuksi saatiin 27 dB. Luokkahuoneen ja käytävän välillä vaatimusten mukaan tulisi saavuttaa ilmaääneneristävyydluku 34 dB, kun tilojen välissä on ovi. Mittaustulosta heikentää oleellisesti useat rakenteen lävistyksiset ja tiivisteetön ovi. Jotta vaatimusten mukaiseen ääneneristävyyteen päästäisiin, tulisi ilmanvaihtokanavissa olla äänenvaimentimet lävistyksien yhteydessä ja tilojen välissä tulisi olla täydellinen 30 dB vaatimuksen täyttävä ovi.

Taulukossa 44 on esitetty luokkahuoneen D124 jälkikaiunta-ajat. Luokkahuoneen jälkikaiunta-aika ylittää raja-arvon 0,8s taajuuskaistalla 2000 Hz. Tilan absorptiomateriaaleissa on siis hieman puutteita. Absorptiopinta-alan puutteesta aiheutuva jälkikaiunta-ajan pieni ylitys luultavasti korjaantuu, kun tilassa on sen normaalikäyttöä vastaava henkilömäärä. Liitteessä 14 on esitetty käytävän D126 ja luokkahuoneen D124 välisen ääneneristävyyden ja D124 jälkikaiunta-ajan mittaustulokset.

**TAULUKKO 44. Luokkahuoneen D124 jälkikaiunta-ajat**

Taajuus [Hz]	Mitattu jälkikaiunta-aika, T [s]
125	0,66
250	0,71
500	0,70
1000	0,75
2000	0,85
4000	0,74

#### 9.4 Teknisen työn tilan ja ATK luokan välinen ääneneristävyys

Mittauksissa Teknisen työn tila F127 oli lähetyshuone ja ATK luokka F128 vastaanottohuone. Tilat valittiin mittauskohteeksi niiden välisen seinän rakenne ratkaisun ja tilojen sijoittelun vuoksi. Tiloilla on yhteistä seinäpinta-alaa 18,8 m<sup>2</sup>, johon sisältyy ikkunallinen ovi ja kaksi ikkunaa. Lisäksi seinän lävistää kaksi 250 mm ilmanvaihtokanavaa ja yksi 160 mm ilmanvaihtokanava. 160 mm kanava toimii siirtoilman kulureittinä, koska ATK-tilasta on suunniteltu ylipaineinen pölyävään teknisen työn tilaan nähden. Siirtoilmakanava on varustettu äänenvaimentimella toisin kuin kaksi muuta rakenteen lävistävää ilmanvaihtokanavaa.

Mittauksissa ilmanääneneristävyyksiluvuksi saatiin 35 dB, kun vaatimukset vaativat erityisluokkahuoneen ja luokkahuoneen väliseltä rakenteelta 57 dB ääneneristävyyttä. Ratkaiseva tekijä tuloksessa on tilojen välissä oleva suuri lasipinta-ala. Ääniteknisiltä vaatimuksiltaan näin suuresti eroavat tilat tulisi sijoittaa toisistaan aivan erilleen ja lasin käyttöä seinä rakenteena tulisi välttää. Siirtoilmakanava on oikeaoppisesti varustettu äänenvaimentimella, mutta äänenvaimennin menettää merkityksensä, kun vierestä kulkee 2 vaimentamatonta kanavaa.

Taulukossa 45 on esitetty ATK-luokan F128 jälkikaiunta-ajat. Vaatimusten mukaan kyseisen tilan jälkikaiunta-aika tulisi olla 0,6-0,8 s. Luokassa jälkikaiunta-ajan raja-arvot ylittyvät kaikilla muilla taajuuskaistoilla paitsi 1000 Hz kaistalla. ATK-luokan huonekorkeus on n. 4 metriä, joka on tavallista suurempi. Suuren huonekorkeuden takia tilassa tulisi olla absorptiopinta-alaa suhteessa lattiapinta-alaan normaalia enemmän. Tila vaatisi absorptiomateriaalia myös muualle kuin pelkälle kattopinnalle. Liitteessä 15 on esitetty tilojen välisen ääneneristävyyden ja ATK-luokan jälkikaiunta-ajan mittaustulokset.

**TAULUKKO 45. ATK-luokan F128 jälkikaiunta-ajat**

Taajuus [Hz]	Mitattu jälkikaiunta-aika, T [s]
125	1,43
250	0,90
500	0,84
1000	0,80
2000	1,01
4000	0,89

### 9.5 Luokahuoneiden E119 ja E120 välinen ääneneristävyys

Mittauksessa huone E119 toimii vastaanottohuoneena ja E120 lähetyshuoneena. Tilloilla on yhteinen 34,7 m<sup>2</sup> muurattu seinä. Seinärakenne on täysin lävistämätön. Ilmanvaihto on toteutettu molempiin luokahuoneisiin erikseen kanavahaaroilla käytävällä kulkevasta runkokanavasta.

Mittauksissa ilmaääneneristävyyksiluvuksi saatiin 41 dB, ja vaatimukset vaativat luokahuoneiden välille 44 dB ääneneristävyyttä. Tuloilmakanavan kautta äänenkulku reitti on melko lyhyt, joten ilmanvaihtokanavisto voi vaikuttaa tulokseen, vaikka tilat eivät suoranaisesti kytkeydy ilmanvaihtokanavilla toisiinsa.

Ilmanvaihtokanaviston merkityksen tulokseen voisi varmistaa toisella mittauksella, jossa ilmanvaihtokanavien päät täytettäisiin esimerkiksi mineraalivillalla ja estettäisiin näin äänen kulkeutuminen kanaviston kautta.

Taulukossa 46 esitetään luokkahuoneen E119 jälkikaiunta-ajat. Luokkahuoneen jälkikaiunta-ajat ylittävät vaatimusten raja-arvon 0,8s kaikilla muilla taajuuskaistoilla paitsi 500 Hz kaistalla. Luokkahuoneen korkeus on 3,9 m, joka on normaalia hieman suurempi korkeus. Tällöin tila vaatisi lisä absorptiopinta-alaa seinille, koska pelkän katon pinta-ala ei ole riittävä. Liitteessä 16 on esitetty tilojen välisen ääneneristävyyden ja tilan E119 jälkikaiunta-ajan mittaustulokset.

**TAULUKKO 46. Luokkahuoneen E119 jälkikaiunta-ajat**

Taajuus [Hz]	Mitattu jälkikaiunta-aika, T [s]
125	1,27
250	0,94
500	0,73
1000	0,83
2000	0,89
4000	0,83

### 9.6 Käytävän E110 ja luokkahuoneen E119 välinen ääneneristävyys

Mittauksessa käytävä E110 toimi lähetyshuoneena ja luokkahuone vastaanottohuoneena. Tiloilla on yhteistä seinäpinta-alaa 20,1 m<sup>2</sup>, josta valta osa on muurattua väli-seinää. Tilojen välillä on myös ovi ja oven vieressä iso ikkuna. Tilojen välisen rakennetta heikentää kolme 200 mm ilmanvaihtokanavaa, jotka kaikki ovat käytävän puolella piilossa alakaton yläpuolella.

Mittauksissa käytävän ja luokkahuoneen väliseksi ilmaääneneristysluvaksi saatiin 37 dB. Vaatimukset vaativat luokkahuoneen ja käytävän väliseltä rakenteelta 34 dB ääneneristävyyttä, kun tilojen välissä on ovi, joten rakenne täyttää vaatimukset. Liitteessä 17 on esitetty tilojen välisen ääneneristävyyden mittaustulokset.

### 9.7 Toimisto- ja puheterapiahuone E132 ja yksilöopetushuoneen E133 välinen ääneneristävyys

Mittauksessa lähetyshuoneena toimii yksilöopetushuone E133 ja vastaanottohuoneena huone E132. Tilojen välissä on 16,6 m<sup>2</sup> muurattu ja lävistämätön seinärakenne. Ilmanvaihto tiloihin on toteutettu erillisin haarakanavin käytävän runkokehän kautta.

Mittauksissa tilojen väliseksi ilmaääneneristyslukuksi saatiin 45 dB. Vaatimuksien mukaan luokkahuoneiden tai niihin rinnastettavien tilojen välillä 44 dB ääneneristävyttä, kun niiden välissä ei ole ovea, joten kyseinen rakenne täyttää vaatimukset.

Taulukossa 47 on esitetty toimistohuoneen E132 jälkikaiunta-ajat. Tilan käyttötarkoitus on toimistohuone ja puheterapiahuone eli tilassa toimitaan yksin tai kahden kesken. Toimistohuoneen jälkikaiunta-aika tulisi vaatimusten mukaan olla alle 0,6s. Tila täyttää vaatimukset vain taajuuskaistoilla 1000 ja 4000 Hz. Tila oli mittaustilanteessa täysin kalustettu, joten tilan absorptiopinta-ala on hieman suurempi, kuin suunniteltu. Tilan huonekorkeus on 3,4 metriä, joka on hieman normaalia isompi korkeus. Tilassa ei tule olemaan käyttötilanteessa niin paljon ihmisiä, jotta puutteellinen absorptiopinta-ala korvautuisi ihmisten määrällä. Tila vaatisi lisää absorptiopinta-alaa seinille, jotta vaatimuksien asettamat arvot saavutettaisiin, pelkkä katon absorptiopinta-ala ei riitä korkeassa tilassa. Liitteessä 18 on esitetty tilojen välisen ääneneristävyyden ja tilan E132 jälkikaiunta-ajan mittaustulokset.

**TAULUKKO 47. Toimistohuoneen E132 jälkikaiunta-ajat**

Taajuus [Hz]	Mitattu jälkikaiunta-aika, T [s]
125	0,68
250	0,69
500	0,72
1000	0,59
2000	0,64
4000	0,59

## 9.8 Yhteenveto rakenteiden ääneneristävyydestä

Mittauksissa vain kaksi rakennetta seitsemästä täytti asetetut tavoitevaatimukset ja molemmat näistä tiloista sijaitsevat rakennuksen uudessa E-siivessä. Uudessa osassa rakennusta ilmanvaihto on suunniteltu oikeaoppisesti eli kanavat eivät suoranaisesti yhdistäneet tiloja toisiinsa ja kaikki ovet ovat ääneneristävyydeltään oikeanlaiset ja ovien tiivisteet on asennettu oikein. Luokkahuoneiden E119 ja E120 välillä vaatimukset kuitenkin alittuivat luultavasti ilmanvaihtokanaviston takia, koska kulkeutumismatka kanavien kautta huoneesta toiseen on lyhyt.

Teknisentyön luokan ja ATK-luokan välillä ratkaiseva tekijä on suurimmalta osin lasista koostuva väliseinä. Ilmanvaihtokanavistosta puuttuu oleelliset äänenvaimentimet, mutta niillä ei luultavasti ole lasirakenteen takia mitään vaikutusta ääneneristävyyteen.

Rakennuksen vanhassa osassa yksikään rakenne ei saavuttanut vaatimuksia. Suurimmat tekijät tuloksissa ovat rakenteita lävistävät ilmanvaihtokanavat ja puuttuvat äänenvaimentimet sekä ovien puutteellinen ääneneristysluokitus että ovien tiivisteiden puuttuminen.

Tilojen jälkikaiunta-ajoissa rakennuksen vanha osa suoriutui uutta osiota hieman paremmin. Syy vanhan puolen parempiin tuloksiin on tilojen huonekorkeudessa. Vanhalla puolella huonekorkeus on n. 2,7 metriä ja uudella puolella n. 4 metriä. Kaikissa tiloissa absorptiomateriaalia luokaltaan C oli sijoitettu vain kattoon ja normaalin korkeudessa tilassa tämä on yleensä riittävä ratkaisu. Korkeassa tilassa katonpinta-alan suhde tilavuuteen pienenee ja näin ollen pelkän katon pinnoittaminen absorptiomateriaalilla ei riitä takaamaan oikeaa jälkikaiunta-aikaa. Taulukossa 48 on esitetty arvio absorptioluokan C materiaalin määrästä tilassa prosentteina lattiapinta-alasta huonekorkeuden ja jälkikaiunta-ajan vaihdellessa. Taulukko 48 osoittaa samanlaisia tuloksia kuin tehdyt mittaukset. Noin neljän metrin huonekorkeudella ja jälkikaiunta-ajalla 0,8 s tulee luokan C absorptiomateriaalia olla tilassa 120 % lattiapinta-alasta. Luokkahuoneessa E119 tämä tarkoittaisi sitä, että luokan C absorptiomateriaalia pitäisi tilassa olla arviolta  $59,5\text{ m}^2 \cdot 1,2 = 71,4\text{ m}^2$ , jotta päästäisiin 0,8 s jälkikaiunta-aikaan. Näin ollen tilan absorptiopinta-ala jää vajaaksi n.  $12\text{ m}^2$ , kun absorptiomateriaali sijoitetaan vain kattoon. Taulukko 48 on suuntaa antava ja lopullinen tarve absorptiomateriaalin määrälle tulee tarkentaa tarkemmilla laskelmilla.

**TAULUKKO 48. Tilan arvioitu absorptiomateriaalin määrä suhteessa lattiapinta-alaan [4, s. 36]**

Jälkikaiunta-aika	Tilan korkeus									
	2,4 m	2,7 m	3 m	3,5 m	4 m	5 m	6 m	8 m	10 m	12 m
0,35 s	170	200	220	260	–	–	–	–	–	–
0,4 s	150	170	190	230	260	–	–	–	–	–
0,45 s	130	150	170	200	230	–	–	–	–	–
0,5 s	110	130	150	180	210	260	–	–	–	–
0,55 s	100	120	130	160	180	240	–	–	–	–
0,6 s	90	100	120	140	170	220	–	–	–	–
0,7 s	70	80	100	120	140	180	–	–	–	–
0,8 s	60	70	80	100	120	150	–	–	–	–

## 10 PÄÄTELMÄT

Työn tarkoituksena oli tutkia koulurakennuksen äänitekniisiä ominaisuuksia mittauksilla ja saatujen tulosten perusteella ohjeistaa Mikkelin kaupunkia tulevaisuuden rakennusprojekteissa. Tulevaisuudessa tilaajalle riittää hyvän akustiikan takaamiseksi edelleen samat asiakirjat kuin nykyäänkin, eli sisäilmastoluokitus. Mutta erikseen voidaan vielä viitata standardiin SFS 5907 ”Rakennusten akustinen luokitus”, jos rakennukselle ei aseteta sisäilmastoluokkaa S2 tai S1. Akustiikkaa tulisi painottaa ja nostaa esille suunnitteluvaiheessa ja tehdä selväksi, minkälaisiin tavoitteisiin pyritään akustiikan kannalta. Lisäksi rakennusten akustisia ominaisuuksia tulisi tarkistaa jälkeenpäin tehtävillä mittauksilla, joissa mittaajana toimii kolmas osapuoli. On myös suositeltavaa palkata projektiin erillinen akustinen suunnittelija varsinkin, jos rakennettava rakennus on akustisilta ominaisuuksiltaan vaativa.

Ilmanvaihdon äänitasomittauksissa suurin osa tiloista ylitti vaatimusten asettamat ohjearvot. Jokaisessa äänitasot ylittäneessä tilassa liian korkean äänitason pystyi arvioimaan jo korvakuulolta. Ilmanvaihdon ilmamäärien mittausta ja äänitasomittaukset antoivat jokaisessa tilassa toisistaan poikkeavia tuloksia. Jos ilmanvaihtolaitteisto toimii suunnitelluilla ilmamäärillä, ei yhdenkään tilan päätelaitteiden kehittämät äänitasot ylittäisi määräyksiä. Suurimmaksi äänilähteeksi E-siivessä epäillään säätöpeltejä tai puhaltimia. Täyden varmuuden saamiseksi tulisi tehdä tarkempia tutkimuksia säätöpeltien ja puhaltimien tuottamista äänitasoista. Säätöpeltien mahdollisesti tuottamaan äänitasoon voidaan vielä vaikuttaa jälkeenpäin asennettavilla äänenvaimentimilla. Jotta rakennuksen ilmanvaihdon äänitasot saadaan korjattua, tulisi ilmanvaihdon ilmavirrat myös mitata ja säätää uudestaan sillä muutamissa tiloissa oli havaittavissa selviä ongelmia ilmavirroissa.

D-siivessä äänitasot näyttävät johtuvan luultavasti suuresta painetasosta ja liian ahtaista kanavista. Kanavakokoa on lähes mahdoton suurentaa enää tilan puutteen vuoksi. Rakennuksen D-osassa tulisi tehdä vähintään ilmavirtojen mittaus- ja säätötyö, sillä jo näiden töiden avulla voitaisiin mahdollisesti saavuttaa vaaditut äänitasot. Samalla tiloja yhdistäviin kanaviin pitäisi asentaa äänenvaimentimet.

Rakenteiden ääneneristysmittauksissa tulokset olivat samansuuntaisia kuin ilmanvaihdon äänitasomittauksissa, eli vain pieni osa mitatuista kohteista täytti vaatimukset.



Suurimmassa osassa mittauksia löytyi selvä syy siihen, miksi vaatimuksia ei saavutettu. Rakennuksen vanhassa osassa syynä oli usein rakenteita lävistävät ilmanvaihtokanavat ja ovien tiivisteiden uupuminen tai oven ääneneristysluokitus. Rakennuksen uudessa osiossa suurin syy tulosten alittumiseen oli vääränlainen väliseinän rakenne.

Jälkikaiunta-ajat eivät alittaneet asetettuja vaatimuksia täysin missään tilassa. Lisäksi kaikki tilat oli kalustettu täysin mittaustilanteessa, joten absorptiopinta-alat eivät vastanneet suunniteltuja pinta-aloja. Rakennuksen uudessa osassa oli selviä suunnitteluvirheistä johtuvia poikkeamia jälkikaiunta-ajoissa. Rakennuksen vanha osa pärjäsi hieman paremmin jälkikaiunta-ajan mittauksissa, mutta sielläkin tuloksia paransi täysin kalustetut tilat. Suuri osa tiloista pääsee vaadittuun 0,6-0,8s jälkikaiunta-aikaan, kun tiloissa on käyttötarkoituksen mukaisesti henkilöitä, mutta henkilömäärää ei pitäisi ottaa suunnitelmissa huomioon, vaan tilan tulisi täyttää vaatimukset kiintokalusteilla varustettuna.

Rakennukselle on asetettu sisäilmastoluokituksen mukainen sisäilmastoluokka S2, joka edellyttää ääniolosuhteilta SFS standardin 5907 luokan C mukaisia äänitekniisiä ominaisuuksia. Suoritettujen mittausten perusteella rakennus ei täytä luokan C vaatimuksia, mutta suoritettut mittaukset eivät riitä kattamaan standardin vaatimaa 5% mittausten laajuutta. Standardissa todetaan seuraavaa ” *Rakennuksen tai tilan voidaan kuitenkin todeta kuuluvan johonkin standardissa määritellyyn akustiseen luokkaan vain, kun luokituksessa määriteltujen arvojen on todettu täyttyvän valmiissa rakennuksessa tehdyin akustisin kenttämittauksin.*”. Sisäilmastoluokitus S2 määrittää rakennuksen kuuluvun akustiseen luokkaan C, joten tulisi luokan toteutuminen todentaa kenttämittauksin. Tällä perusteella akustisten ominaisuuksien varmistamiseksi riittää rakennuksen sitominen pelkästään johonkin sisäilmastoluokkaan. Suunnitteluvaiheessa akustisia ominaisuuksia on hyvä nostaa esille, sillä akustiikkaan vaikuttaminen valmiissa rakennuksessa toivotulla tavalla on yleensä mahdotonta.

Rakennuksen peruskorjattu osa on hieman pulmallinen tässä tilanteessa, koska siihen ei suoraan voida käyttää akustista luokitusta C. Vanhoille rakennuksille on erikseen luokka D, mutta standardi ei määritä raja-arvoja D-luokalle. D-luokkaa käytetään vain silloin, kun halutaan ilmoittaa vanhan rakennuksen akustiset ominaisuudet. Kun vanha rakennus ei täytä mittauksissa luokan C vaatimuksia, annetaan sille akustiseksi luokaksi D, uudisrakennuksille vastaavaa D-luokitusta ei käytetä.

Mittauksien suorittamiseen oli aikaa vain muutama ilta laitteiden vuokraamisen vuoksi. Tulokset ovat luotettavia, mutta jos aikaa olisi ollut hieman enemmän, olisi tuloksia voitu tarkastella tarkemmin mittausten välissä ja tehdä saatujen tulosten perusteella tarkentavia mittauksia tarvittaessa. Tällainen tilanne oli mm. tilojen E119 ja E120 välisessä ääneneristysmittauksessa. Lisäajan puitteissa olisi saatu samalla hieman kattavampi otanta ja voitu tarkemmin tutkia ja paikantaa eri äänilähteitä ilmanvaihtolaitoksessa.

## LÄHTEET

1. Halme, Alpo & Seppänen, Olli. Ilmastoinnin äänitekniikka. Helsinki: Suomen LVI-liitto. 2002.
2. Helimäki, Heikki, Hongisto, Valtteri & Kylliäinen, Mikko. RIL 243-2-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu, Oppilaitokset auditoriot, liikuntatilat ja kirjastot. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. 2007.
3. Hongisto, Valtteri & Kylliäinen, Mikko. RIL 243-1-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu, akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. 2007.
4. SFS 5907 2004. Päivitetty 13.2.2006. Luettu 30.9.2011.
5. SFS 5517 1989. Ei päivitystietoja. Luettu 30.9.2011.
6. Sisäilmastoluokitus 2008. 2008. Espoo: Sisäilmayhdistys ry.
7. Jiris tuote-esite. 2011. Jeven Oy. WWW-dokumentti. [http://www.jeven.fi/mvhome/homepage\\_image.html?img\\_id=2170&did=298&lang=fi&selected\\_item\\_id=0&page\\_category\\_id=75350](http://www.jeven.fi/mvhome/homepage_image.html?img_id=2170&did=298&lang=fi&selected_item_id=0&page_category_id=75350). Päivitetty 9.3.2011. Luettu 24.11.2012.
8. Päätelaitteen tekninen esite. 2010. Fläktwoods Oy. WWW-dokumentti. <http://www.flaktwoods.fi/44728edc-d034-4c5f-aedd-3fbc3698250e>. Päivitetty 23.10.2010. Luettu 24.3.2012.
9. Äänenvaimentimen tuote-esite. 2010. Lindab Oy. WWW-dokumentti. <http://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/fin/technical/kvap.pdf>. Päivitetty 16.2.2012. Luettu 24.3.2012.
10. Suomen rakentamismääräys kokoelma osa D2 2010.
11. Norsonic AS. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.norsonic.com>. Päivitetty 8.3.2012. Luettu 8.3.2012.

## HUONE E119 IV- ÄÄNITASOT

## ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	44,5	47,4	44,2	46,3	43,9	46,5
63	47,2	45,1	47,1	45	46,7	44,4
80	43,8	47,8	43,9	47,7	43,8	47,9
100	48,5	48,6	48,2	48,5	48,4	48,8
125	50,8	54,9	50,8	55,1	50,6	54,5
160	46,2	44,8	46,2	44,7	46,5	44,7
200	39,5	40,1	39,5	40	39,7	40,4
250	38,4	37	38,1	37,2	38,5	37,4
315	36,9	36,2	36,7	36,1	37,1	36,1
400	35,9	35,4	35,7	35,1	35,9	35
500	32,1	31	31,9	31	32	31,1
630	35,7	33,8	35,4	34	35,4	33,6
800	33,4	32,7	33,3	32,6	33,4	32,6
1000	33,9	33,7	33,7	33,8	33,8	33,8
1250	29,3	29,7	28,9	29,6	29,2	29,6
1600	32,7	33	32,5	32,9	32,6	32,9
2000	28,4	28,3	28,1	28,1	28,2	28,2
2500	31,1	31,8	30,7	31,4	31	31
3150	26,5	25,7	26,2	25,5	26,3	0,7
4000	24	24,2	23,6	24,1	23,9	25,6
5000	19,9	19,5	19,5	19,3	19,7	24,2
6300	16,2	15,6	15,9	15,5	16,1	19,4
8000	13,6	12,3	13,4	12,1	13,5	15,6
10000	11,2	10,8	11,7	10,6	12,1	12,2
Tot.	55,8	57,8	55,7	57,7	55,6	10,6

## Muutos oktaavikaistoiksi

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	50,2	51,7	50,1	51,2	49,8	51,3
125	53,7	56,1	53,6	56,3	53,6	55,9
250	43,2	42,9	43,0	42,9	43,3	43,1
500	39,7	38,5	39,4	38,5	39,5	38,3
1000	37,4	37,1	37,2	37,1	37,3	37,1
2000	35,8	36,2	35,6	36,0	35,7	35,9
4000	29,0	28,6	28,7	28,4	28,8	28,0
Tot.	55,8	57,8	55,7	57,7	55,6	57,5
Keskiarvo	56,7					

## Lisätty A-painotus

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	24,0	25,5	23,9	25,0	23,6	25,1
125	37,6	40,0	37,5	40,2	37,5	39,8
250	34,6	34,3	34,4	34,3	34,7	34,5
500	34,2	33,9	34,0	33,9	34,1	33,9
1000	37,4	37,1	37,2	37,1	37,3	37,1
2000	37,0	37,4	36,8	37,2	36,9	37,1
4000	30,0	29,6	29,7	29,4	29,8	29,0
Tot.	43,6	44,3	43,4	44,3	43,6	44,2
Keskiarvo	43,9					

## ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	24,8	25,2	27,2	28,2	22,3	22,8
63	22,4	20,5	25,3	23,9	18,6	17,3
80	18,3	21,1	20	23,1	15,1	17,5
100	16,4	16,8	17,8	17,9	15,6	14,6
125	15,5	15,2	16,8	16,2	15,7	15,3
160	16,3	16	16,2	16	16,3	16
200	17,3	18	18,1	18,7	19,1	19,3
250	7,1	8,6	21,3	18,31	12,9	12,3
315	6,6	6,9	10,6	9,2	9,7	8,8
400	4	5	5,1	6,1	6,1	5,7
500	2,4	2,2	3,6	3,3	2,2	2
630	2,7	3,4	4,1	4,5	2,8	3
800	5,6	6,4	7,3	8,4	3,9	4,7
1000	7,8	7,8	10	9,2	2,1	3
1250	6,7	6,7	9,1	9,1	1,7	2,5
1600	5,5	6,7	9,6	9,9	2,4	2,9
2000	4,6	4,6	6,7	6,6	3,3	3,7
2500	4,9	5,3	6,4	6,3	4,2	4,5
3150	5,1	5,2	5,9	5,8	4,9	5,1
4000	10,6	10,4	10,5	10,5	10,5	10,4
5000	9,3	8,7	9,3	8,8	9,3	8,7
6300	8,2	7,6	8,2	7,5	8,2	7,6
8000	8,4	7,6	8,3	7,6	8,3	7,5
10000	9,4	8,6	9,5	8,4	9,6	8,5
Tot.	29,1	29,3	31,5	31,7	27,5	27,6

## Muutos oktaavikaistoiksi

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	27,4	27,6	29,8	30,5	24,4	24,8
125	20,9	20,8	21,8	21,6	20,6	20,1
250	18,0	18,8	23,2	21,8	20,4	20,4
500	7,9	8,5	9,1	9,6	8,8	8,6
1000	11,6	11,8	13,7	13,7	7,4	8,3
2000	9,8	10,4	12,6	12,7	8,1	8,5
4000	13,7	13,4	13,7	13,5	13,6	13,3
Tot.	28,9	29,2	31,5	31,7	27,4	27,4
Keskiarvo	29,3					
IV-ääni	57					

## Lisätty A-painotus

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	1,2	1,4	3,6	4,3	0,0	0,0
125	4,8	4,7	5,7	5,5	4,5	4,0
250	9,4	10,2	14,6	13,2	11,8	11,8
500	8,4	8,6	10,5	10,5	4,2	5,1
1000	11,6	11,8	13,7	13,7	7,4	8,3
2000	11,0	11,6	13,8	13,9	9,3	9,7
4000	14,7	14,4	14,7	14,5	14,6	14,3
Tot.	18,8	19,0	20,9	20,6	18,1	18,1
Keskiarvo	17,3					
IV-ääni	44					



## HUONE E120 IV- ÄÄNITASOT

## ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	54,3	53	54,5	53,4	54,6	53,5
63	55,1	54,4	55,6	55,1	55,2	54,4
80	45,3	44,6	45,1	44,6	45	44,7
100	44,7	46,2	44,8	45,5	44,5	45,5
125	51,9	49,9	52,6	50,5	52,6	50,8
160	43,1	44,8	43,4	44,8	43,3	45,2
200	40,2	40,8	40,1	40,7	40,1	40,7
250	36,9	39,4	37,3	39,7	37,1	39,4
315	37,2	37,2	37,2	37,3	37,3	37,3
400	35,9	36,1	36,1	36,1	36	36,1
500	33,5	34,3	33,9	34,5	33,3	34,2
630	38,1	35,3	38,5	35,5	38,1	35,2
800	32,6	33	32,9	33,2	32,7	32,9
1000	33,8	34,3	34	34,4	33,8	34,4
1250	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,6
1600	31,9	32	32	32,2	31,7	32,1
2000	29,1	28,9	29,3	29,1	29	29
2500	32,6	20,6	32,7	30,9	32,5	30,6
3150	27,3	27,7	27,5	28	27,3	27,8
4000	23,6	22,5	23,8	22,7	23,6	22,7
5000	20,3	19,1	20,5	19,3	20,3	19,2
6300	16	14,1	16,1	14,3	16	14,3
8000	12,3	11,1	12,3	11,2	12,3	11,2
10000	10	9	10,1	9,1	10	9,1
Tot.	59,4	58,6	59,8	59,0	59,7	58,8

## Muutos oktaavikaistoiksi

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	58,0	57,0	58,3	57,6	58,1	57,2
125	53,1	52,3	53,7	52,5	53,6	52,8
250	43,1	44,1	43,2	44,2	43,2	44,1
500	41,0	40,1	41,3	40,2	41,0	40,0
1000	37,8	38,1	38,0	38,2	37,8	38,1
2000	36,2	33,9	36,3	35,7	36,1	35,5
4000	29,4	29,3	29,6	29,6	29,4	29,4
Tot.	59,4	58,6	59,8	59,0	59,7	58,8
Keskiarvo	59,2					

## Lisätty A-painotus

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	31,8	30,8	32,1	31,4	31,9	31,0
125	37,0	36,2	37,6	36,4	37,5	36,7
250	34,5	35,5	34,6	35,6	34,6	35,5
500	34,6	34,9	34,8	35,0	34,6	34,9
1000	37,8	38,1	38,0	38,2	37,8	38,1
2000	37,4	35,1	37,5	36,9	37,3	36,7
4000	30,4	30,3	30,6	30,6	30,4	30,4
Tot.	44,0	43,6	44,2	44,0	44,1	44,0
Keskiarvo	44,0					

**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	26,1	30,4	22	23,9	21,2	24,5
63	29,3	34,1	21,6	22	19,5	20,5
80	18,7	20,4	18,8	19,5	17,8	19,5
100	20,5	19,5	16,2	17,2	17	17,6
125	20,4	19,9	17,6	16,4	17,4	16,2
160	15,7	16,2	15,8	16,2	15,3	16
200	15,3	16,2	15,6	16,2	15,4	15,7
250	8,5	9,8	9,2	10,3	8,3	9,8
315	9,4	9,9	11,2	11,1	9,1	9,8
400	9,2	8,5	12,3	13,1	7,4	7,4
500	7,7	8,6	7,9	8,6	7,5	8,1
630	9,8	12	9,6	11,5	9,4	11,4
800	10,8	11,8	11,1	11,9	10,5	11,5
1000	10,1	10,6	10,6	10,9	9,7	10,6
1250	11,2	10,8	10,9	10,7	11	10,8
1600	8,3	9	8,3	8,9	7,6	8,5
2000	6,6	7,1	6,8	7,2	6,8	7,2
2500	5,2	5,8	5,3	5,9	5,4	6,1
3150	5,5	5,8	5,5	5,8	6	6,2
4000	11,7	10,6	11,9	10,8	12,3	11,1
5000	10,3	9,6	10,3	9,6	10,6	9,9
6300	9,2	8,3	9	8,4	9,4	8,5
8000	8,5	7,6	8,6	7,6	8,8	7,8
10000	8,1	7,5	8,1	7,5	8,3	7,7
Tot.	32,5	36,2	28,5	29,2	27,7	29,1

**Muutos oktaavikaistoiksi**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	31,2	35,8	25,8	26,9	24,5	26,8
125	24,1	23,6	21,4	21,4	21,4	21,4
250	17,0	17,9	17,6	18,1	17,0	17,5
500	13,8	14,8	15,1	16,2	13,0	14,1
1000	15,5	15,9	15,6	16,0	15,2	15,8
2000	11,7	12,3	11,7	12,3	11,5	12,1
4000	14,6	13,9	14,7	14,0	15,1	14,3
Tot.	32,4	36,2	28,4	29,1	27,6	28,9
Keskiarvo	30,4					
IV-ääni	59					

**Lisätty A-painotus**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	5,0	9,6	0,0	0,7	0,0	0,6
125	8,0	7,5	5,3	5,3	5,3	5,3
250	8,4	9,3	9,0	9,5	8,4	8,9
500	12,3	12,7	12,4	12,8	12,0	12,6
1000	15,5	15,9	15,6	16,0	15,2	15,8
2000	12,9	13,5	12,9	13,5	12,7	13,3
4000	15,6	14,9	15,7	15,0	16,1	15,3
Tot.	21,0	21,2	20,9	21,0	20,8	20,9
Keskiarvo	21,0					
IV-ääni	44					



## HUONE E115 IV- ÄÄNITASOT

## ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	48,5	49,4	48,8	49,6	48,6	49,8
63	49	51,5	48,7	51,1	49,7	51,8
80	42,1	49	41,9	49,4	41,8	48,9
100	43,9	46,1	43,7	46,1	43,6	45,7
125	44,6	43,6	44,7	43,5	44	43,3
160	43,7	43,1	43,9	43,8	44,1	43,9
200	39,3	39,4	39	39,3	38,8	39,3
250	37,9	37,7	37,9	37,7	37,7	37,6
315	34,3	33,5	34,3	33,4	34,1	33,4
400	33,8	33,2	33,8	33	33,6	32,8
500	30,9	30,6	31	30,8	30,8	30,6
630	32,2	32,3	32	32	31,7	31,9
800	28,4	28,9	28,4	28,8	28,1	28,6
1000	28	29,6	28	29,8	27,6	29,4
1250	27,6	27,5	27,7	27,7	27,3	27,2
1600	30,4	30,6	30,3	30,6	30,1	30,3
2000	33,2	33	33,1	33	32,9	32,9
2500	31,3	31,5	31,1	31,5	30,9	31,1
3150	27	26,6	26,8	26,5	26,7	26,3
4000	24,4	23,7	24,3	23,6	24,2	23,4
5000	21,2	19,6	21,1	19,6	21	19,4
6300	15,4	14,1	15,2	13,9	15	13,7
8000	12,2	11,2	12,1	11	11,9	10,9
10000	9,4	8,6	9,4	8,5	9,3	8,4
Tot.	54,4	56,2	54,3	56,3	54,5	56,4

## Muutos oktaavikaistoiksi

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	52,2	54,9	52,2	54,9	52,6	55,1
125	48,9	49,2	48,9	49,4	48,7	49,2
250	42,4	42,3	42,3	42,2	42,1	42,2
500	37,2	36,9	37,2	36,8	37,0	36,6
1000	32,8	33,5	32,8	33,6	32,5	33,3
2000	36,6	36,6	36,4	36,6	36,2	36,3
4000	29,6	28,9	29,4	28,8	29,3	28,6
Tot.	54,4	56,2	54,3	56,3	54,5	56,4
Keskiarvo	55,4					

## Lisätty A-painotus

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	26,0	28,7	26,0	28,7	26,4	28,9
125	32,8	33,1	32,8	33,3	32,6	33,1
250	33,8	33,7	33,7	33,6	33,5	33,6
500	34,0	33,7	34,0	33,6	33,8	33,4
1000	32,8	33,5	32,8	33,6	32,5	33,3
2000	37,8	37,8	37,6	37,8	37,4	37,5
4000	30,6	29,9	30,4	29,8	30,3	29,6
Tot.	42,1	42,2	42,0	42,2	41,8	42,0
Keskiarvo	42,1					



**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	38,7	40,5	35,1	36,1	27,3	28
63	40,4	40,1	32,4	33,1	24,7	25
80	30	32,4	23	28	18,5	23
100	22,2	22,5	24,8	25,1	23,2	24,9
125	17,4	18,8	21,2	20,9	15,1	16,2
160	24,8	25	23,8	23,2	19,4	20
200	21,4	19,4	21	19,1	18,3	16,9
250	15,6	15,5	14,9	14,8	11,6	12,8
315	10,7	11,6	13,4	13,3	9,5	10,5
400	9,9	10,8	9,4	10,6	8,9	9,9
500	11,6	12,6	9,1	9,3	9,2	9,5
630	12,8	13,8	10,6	12,3	10,6	11,9
800	11,2	13,3	9,8	13,3	12,6	14,1
1000	11,2	18,8	8,9	9,7	16,2	14,8
1250	10,1	10,9	8	8,7	15,5	14,3
1600	11,1	11,9	8	8,2	13,7	13,9
2000	9,4	10,3	7,9	8	10	10,3
2500	7,5	8,8	6,8	7,2	7,3	7,4
3150	6,5	7,1	6,7	6,8	6,4	6,6
4000	11,9	11,4	12	11,4	11,9	11,5
5000	9,8	9,5	9,9	9,5	9,9	9,4
6300	8,7	8	8,7	8	8,7	8
8000	8,5	8,1	8,6	8	8,5	7,6
10000	8	7,2	8	7,2	8	7,2
Tot.	43,1	43,8	37,9	38,8	31,9	32,7

**Muutos oktaavikaistoiksi**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	42,9	43,7	37,1	38,3	29,6	30,6
125	27,2	27,6	28,3	28,2	25,2	26,5
250	22,7	21,4	22,5	21,2	19,6	19,0
500	16,4	17,3	14,5	15,7	14,4	15,3
1000	15,6	20,4	13,7	15,8	19,8	19,2
2000	14,3	15,3	12,4	12,6	15,9	16,1
4000	14,7	14,4	14,8	14,4	14,7	14,4
Tot.	43,1	43,8	37,9	38,8	31,8	32,7
Keskiarvo	38,0					
IV-ääni	55					

**Lisätty A-painotus**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	16,7	17,5	10,9	12,1	3,4	4,4
125	11,1	11,5	12,2	12,1	9,1	10,4
250	14,1	12,8	13,9	12,6	11,0	10,4
500	13,2	14,1	11,3	12,5	11,2	12,1
1000	15,6	20,4	13,7	15,8	19,8	19,2
2000	15,5	16,5	13,6	13,8	17,1	17,3
4000	15,7	15,4	15,8	15,4	15,7	15,4
Tot.	23,3	24,8	21,8	22,2	23,4	23,3
Keskiarvo	23,1					
IV-ääni	42					

## HUONE D132 IV- ÄÄNITASOT

## ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	38	40,1	37,8	39,9	37,4	39,7
63	36,9	37,8	36,9	39,1	36,8	38
80	33,6	32,8	33,3	32,4	33,7	33,1
100	33,3	33,8	33,5	34	33,4	34
125	34,9	33,9	34,6	34	34,7	34
160	33,6	33	33,3	32,7	33,4	32,9
200	27,6	30	27,7	30	27,6	30,3
250	30	29,2	29,6	28,9	29,7	29,1
315	28,5	29,6	28,3	29,4	28,8	29,6
400	28,2	28	28,1	28	28,1	27,8
500	25,6	26,5	25,5	26,3	25,7	26,6
630	23,1	24,6	23,3	24,6	23,1	24,6
800	21,9	23,5	22,3	23,5	21,9	23,4
1000	20,5	20,8	21,3	22	20,5	20,8
1250	17,8	17,9	19,9	20,2	17,8	18
1600	18,1	17,9	20,1	19,9	18	17,9
2000	14,1	13,5	15,7	15,3	14,1	13,5
2500	14,9	14	15,5	14,9	14,8	14,1
3150	10,6	9,7	11,7	10,8	10,7	9,7
4000	7,7	7,3	8,1	7,6	7,8	7,5
5000	7,5	6,6	7,4	6,6	7,2	6,5
6300	6,3	5,7	6,4	5,8	6,3	5,7
8000	6,4	5,6	6,5	5,7	6,4	5,6
10000	6,4	5,8	6,3	5,8	6,3	5,8
Tot.	44,0	44,7	43,9	44,9	43,8	44,7

## Muutos oktaavikaistoiksi

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	41,3	42,6	41,2	42,9	41,0	42,5
125	38,8	38,4	38,6	38,4	38,6	38,4
250	33,6	34,4	33,4	34,2	33,6	34,5
500	30,9	31,4	30,8	31,3	30,9	31,3
1000	25,1	26,1	26,0	26,9	25,1	26,0
2000	20,8	20,4	22,4	22,1	20,8	20,4
4000	13,6	12,8	14,3	13,5	13,6	12,9
Tot.	44,0	44,7	43,9	44,9	43,8	44,7
Keskiarvo	44,3					

## Lisätty A-painotus

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	15,1	16,4	15,0	16,7	14,8	16,3
125	22,7	22,3	22,5	22,3	22,5	22,3
250	25,0	25,8	24,8	25,6	25,0	25,9
500	27,7	28,2	27,6	28,1	27,7	28,1
1000	25,1	26,1	26,0	26,9	25,1	26,0
2000	22,0	21,6	23,6	23,3	22,0	21,6
4000	14,6	13,8	15,3	14,5	14,6	13,9
Tot.	32,1	32,6	32,5	32,9	32,1	32,6
Keskiarvo	32					



**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	19	25,5	17,7	25,4	17,3	24,7
63	20,1	22	18,8	20,4	19	20,6
80	14,3	18,1	13,6	17,4	13,2	17,2
100	18,1	18,1	17,8	18	18,1	18
125	30,4	29,9	30,4	29,8	30,6	29,9
160	23,2	21,2	23,3	21,1	23,1	21,2
200	24,3	23	24,4	23,1	24,4	22,8
250	27,1	25,3	27,1	25,4	27,3	25,5
315	21,6	25,9	21,8	26	21,4	25,7
400	19,9	20,2	19,8	20,3	19,8	20,2
500	18,9	20,1	18,9	20,1	18,6	20,1
630	21,2	22,1	21,1	22,1	21	22,2
800	18,5	19,6	18,8	19,7	18,6	19,8
1000	18,2	18,2	18,5	18,5	18,1	18,4
1250	18,3	15,3	18,5	16	18,2	15,8
1600	14,1	14,7	14,9	15,4	14	15
2000	12	11,9	12,2	12,2	11,7	12,3
2500	8,2	8	8,8	8,6	8,1	8
3150	8,6	8,5	8,7	8,5	8,7	8,5
4000	6,9	6,7	7	6,8	6,9	6,7
5000	6,6	6,7	6,8	6,6	6,8	6,6
6300	6,2	5,7	6,2	5,7	6,2	5,7
8000	6,3	5,6	6,3	5,7	6,3	5,7
10000	6,4	5,7	6,4	5,7	6,4	5,7
Tot.	34,9	35,2	34,9	35,1	34,9	35,1

**Muutos oktaavikaistoiksi**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	23,2	27,6	22,0	27,1	21,9	26,7
125	31,4	30,7	31,4	30,6	31,5	30,7
250	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,6
500	24,9	25,7	24,8	25,7	24,7	25,7
1000	23,1	22,8	23,4	23,1	23,1	23,1
2000	16,8	17,1	17,4	17,7	16,7	17,4
4000	12,2	12,2	12,4	12,2	12,3	12,1
Tot.	34,9	35,2	34,9	35,1	34,9	35,0
Keskiarvo	35,0					
IV-ääni	44					

**Lisätty A-painotus**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	0,0	1,4	0,0	0,9	0,0	0,5
125	15,3	14,6	15,3	14,5	15,4	14,6
250	21,1	21,1	21,1	21,2	21,2	21,0
500	21,7	22,5	21,6	22,5	21,5	22,5
1000	23,1	22,8	23,4	23,1	23,1	23,1
2000	18,0	18,3	18,6	18,9	17,9	18,6
4000	13,2	13,2	13,4	13,2	13,3	13,1
Tot.	27,8	27,9	27,9	28,1	27,7	28,0
Keskiarvo	28					
IV-ääni	31					

Huoneen E136 IV-äänitasot

ILMANVAIHTOLAITOS PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	41,4	41,1	42,1	41,7	42,2	41,9
63	39,6	37,9	39,7	37,7	39,9	39,4
80	35,7	35,7	35,8	35,6	35,6	35,7
100	40	38	39,8	38,2	39,7	38
125	31,6	34,2	31,8	34,4	31,6	34,3
160	31	31,9	21,2	32,2	31,1	31,9
200	33	32,1	32,9	31,9	32,7	31,8
250	30,1	29,6	30,5	29,6	30,3	29,4
315	31,7	33,4	32,1	33,6	32	33,6
400	34,4	32,6	34,6	32,8	34,1	32,4
500	36,6	36,8	36,7	37,1	36,9	36,8
630	35,4	34,3	35,3	34,1	35,6	34,4
800	40,6	40	40,5	40	40,4	39,8
1000	38,3	37,7	38,2	37,5	38,4	38,1
1250	40,9	40,4	40,9	40,4	40,9	40,6
1600	33,5	32,8	33,3	32,6	33,4	32,9
2000	31,6	30,7	31,4	30,6	31,8	30,8
2500	27	26,9	26,9	26,7	27,1	26,8
3150	23,3	22,5	22,9	22,2	23	22,3
4000	20,2	19,1	19,9	18,7	20	18,8
5000	15,8	14,4	15	14	14,6	13,7
6300	13,8	11,8	12,2	10,8	11,9	10,8
8000	12	10	10,2	8,9	9,5	8,9
10000	11,5	9,3	9,4	7,9	8,5	8

MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	44,3	43,6	44,7	43,9	44,8	44,5
125	41,0	40,2	40,5	40,4	40,8	40,2
250	36,5	36,7	36,7	36,8	36,5	36,7
500	40,3	39,7	40,4	39,8	40,5	39,7
1000	44,8	44,3	44,8	44,2	44,8	44,4
2000	36,2	35,5	36,0	35,4	36,2	35,6
4000	25,5	24,6	25,1	24,2	25,2	24,3
Tot.	49,5	48,9	49,6	49,0	49,7	49,2
Keskiarvo	49,3					

LISÄTTY A-PAINOTUS

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	18,1	17,4	18,5	17,7	18,6	18,3
125	24,9	24,1	24,4	24,3	24,7	24,1
250	27,9	28,1	28,1	28,2	27,9	28,1
500	37,1	36,5	37,2	36,6	37,3	36,5
1000	44,8	44,3	44,8	44,2	44,8	44,4
2000	37,4	36,7	37,2	36,6	37,4	36,8
4000	26,5	25,6	26,1	25,2	26,2	25,3
Tot.	46,3	45,7	46,2	45,7	46,3	45,8
Keskiarvo	46					

**ILMANVAIHTOLAITOS POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	30	29,1	27,7	26	28,3	26,8
63	23,8	24,3	19,9	21	18,5	20,4
80	15,7	16,3	14,6	15,1	14,6	15,4
100	21,6	15,2	21,4	15	21,7	15,3
125	13,5	15,1	13,4	14,9	13,8	15,4
160	17,1	17,3	17,2	17,3	17,2	17,6
200	23,3	21	23,4	21,1	23,5	21,4
250	9,5	7,8	9,9	8,3	10	8,2
315	11,9	13	12,4	13,2	12,2	13,2
400	5,2	9,6	9	11	9,1	12,5
500	7,1	7,2	11,4	11,2	14,5	13,5
630	7,3	7,3	13,4	13,6	15,3	13
800	5,4	5,1	12,8	14,4	13,8	11,9
1000	5,8	5,4	10,2	10,6	11,4	10,9
1250	4,5	4,6	11,5	12,6	11,8	11,3
1600	9	9,9	13,6	13,7	16,7	14,7
2000	5,8	6,2	11,1	11	12	11,3
2500	7,4	6,9	11,4	11,3	10,7	9,8
3150	6,4	6,4	10,5	10,2	10,5	9,8
4000	10,5	10,5	12,4	12	12,3	11,7
5000	9,1	8,7	11,1	10,4	11,5	10,3
6300	7,5	6,9	9,9	9,2	10,7	9,1
8000	6,5	6,1	8,7	7,5	9,3	7,6
10000	6,6	5,9	8,6	7,5	9,6	7,8

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	31,1	30,5	28,5	27,5	28,9	27,9
125	23,4	20,8	23,3	20,7	23,5	21,0
250	23,8	21,8	23,9	21,9	24,0	22,2
500	11,4	13,0	16,4	16,9	18,5	17,8
1000	10,0	9,8	16,4	17,6	17,2	16,2
2000	12,4	12,8	17,0	16,9	18,7	17,2
4000	13,7	13,6	16,2	15,7	16,3	15,4
Tot.	32,5	31,7	31,3	30,1	31,7	30,4
Keskiarvo	31,3					
IV-ääni	49,3					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	4,9	4,3	2,3	1,3	2,7	1,7
125	7,3	4,7	7,2	4,6	7,4	4,9
250	15,2	13,2	15,3	13,3	15,4	13,6
500	8,2	9,8	13,2	13,7	15,3	14,6
1000	10,0	9,8	16,4	17,6	17,2	16,2
2000	13,6	14,0	18,2	18,1	19,9	18,4
4000	14,7	14,6	17,2	16,7	17,3	16,4
Tot.	20,4	20,0	23,5	23,4	24,5	23,2
Keskiarvo	22					
IV-ääni	46					



**LIITE 6(1).**  
**C120 äänitasot**

Huoneen C120 lv:n äänitaso

**ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	35,6	37,6	34,6	36,8	34,6	36,4
63	36,9	34,9	36,8	34,8	36,3	34,1
80	31,8	32,8	31,8	33,1	31,6	33
100	33,4	34,8	33	34,2	32,9	34,3
125	29,2	28,6	28,8	28,2	28,7	28,4
160	27,1	26,1	26,9	26	26,9	26,2
200	24,6	25,6	24,7	25,4	24,6	25,3
250	19,1	20,4	19,2	21	18,9	20,1
315	18,3	19,7	18,3	19,5	18,6	19,6
400	18,1	18,3	18,2	18,5	18,2	18,4
500	17,4	18,5	17,3	18,5	17,3	18,4
630	16,5	16	16,6	16,3	16,6	16,1
800	17,5	16,1	17,5	16,8	17,3	16
1000	15,3	15,1	15,2	18,4	15,2	15
1250	12,4	12,4	12,1	17,6	12,1	12
1600	11,5	11,9	11,4	15	10,2	10,2
2000	11,7	11,6	11,3	12,9	9,8	10
2500	9,6	9,1	10,8	12,1	8,1	8,2
3150	8,1	7,9	9,1	9,5	7,4	7,2
4000	13,3	12,4	14,1	13,3	13,3	12,4
5000	10,1	9,3	11,2	10,2	10,1	9,2
6300	9,2	8,2	11,2	9,8	9,3	8,2
8000	9,3	8,5	10,3	8,8	9,3	8,3
10000	9,5	8,5	9,8	8,8	9,6	8,5
Tot.	41,6	42,0	41,2	41,6	41,0	41,3

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	40,0	40,3	39,6	39,9	39,3	39,5
125	35,5	36,2	35,1	35,7	35,0	35,8
250	26,4	27,5	26,5	27,5	26,4	27,3
500	22,2	22,5	22,2	22,7	22,2	22,5
1000	20,3	19,6	20,2	22,4	20,1	19,4
2000	15,8	15,8	15,9	18,3	14,2	14,3
4000	15,8	15,1	16,7	16,1	15,7	14,9
Tot.	41,6	42,0	41,2	41,6	41,0	41,3
Keskiarvo	41,5					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	13,8	14,1	13,4	13,7	13,1	13,3
125	19,4	20,1	19,0	19,6	18,9	19,7
250	17,8	18,9	17,9	18,9	17,8	18,7
500	19,0	19,3	19,0	19,5	19,0	19,3
1000	20,3	19,6	20,2	22,4	20,1	19,4
2000	17,0	17,0	17,1	19,5	15,4	15,5
4000	16,8	16,1	17,7	17,1	16,7	15,9
Tot.	26,6	26,7	26,6	27,7	26,3	26,4
Keskiarvo	27					

**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	29,4	30,6	34,1	36,5	31,4	32,9
63	29,3	26,5	34	29,1	36,7	34,1
80	27,7	27,4	29	30	32,5	30,4
100	25,5	29,4	28,5	35,6	27,5	32
125	18,3	16,8	20,7	19,2	24	22,1
160	14,1	13,2	15,7	15,7	20,8	19,2
200	11,2	9,8	12,1	11,4	13,3	13,6
250	4,4	6,4	5,3	8,3	9,6	9,9
315	5,8	5,8	6,2	6,8	5,7	5,7
400	4,7	6,1	5,2	6,1	4,3	5,5
500	3,7	3,5	3,2	3,5	1,7	1,6
630	2,7	3,6	2,7	3,9	1,5	2,3
800	10,4	8,9	8,2	7,6	2,3	3,2
1000	12,5	14	12,7	13,9	3,1	4,2
1250	14,1	14	11,6	12,4	4,6	5,2
1600	10,9	11,3	12	11,4	5,6	6
2000	8,3	8,1	10,7	10,1	5,5	5,4
2500	6,5	7	9,8	10,5	4,7	5
3150	6	6,4	8,7	8,5	5,2	5,5
4000	13,3	12,6	14,8	13,7	13,4	12,5
5000	9,6	9	11,4	10,2	9,4	8,9
6300	9,3	8,1	11,4	10,5	9	7,8
8000	10,5	7,9	11	8,7	10,1	7,7
10000	9,3	8,3	10,4	8,8	9,2	8,3
Tot.	34,7	35,1	38,4	40,1	39,5	38,8

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	33,6	33,3	37,7	38,0	38,9	37,5
125	26,5	29,7	29,4	35,7	29,7	32,6
250	13,0	12,5	13,8	14,0	15,3	15,6
500	8,5	9,3	8,6	9,4	7,5	8,3
1000	17,4	17,6	16,0	16,8	8,2	9,0
2000	13,7	14,0	15,7	15,5	10,1	10,3
4000	15,4	14,8	17,1	16,1	15,3	14,6
Tot.	34,6	35,1	38,4	40,1	39,5	38,8
Keskiarvo	37,7					
IV-ääni	39					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	7,4	7,1	11,5	11,8	12,7	11,3
125	10,4	13,6	13,3	19,6	13,6	16,5
250	4,4	3,9	5,2	5,4	6,7	7,0
500	5,3	6,1	5,4	6,2	4,3	5,1
1000	17,4	17,6	16,0	16,8	8,2	9,0
2000	14,9	15,2	16,9	16,7	11,3	11,5
4000	16,4	15,8	18,1	17,1	16,3	15,6
Tot.	21,8	22,2	22,9	24,2	20,5	21,0
Keskiarvo	22					
IV-ääni	25					

HUONE D122 IV- ÄÄNITASOT

ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	38,8	36,5	40,2	38,1	43,4	38,9
63	37	35	35,3	33,9	34,5	32,3
80	30,9	32,4	32	33,8	29,2	29,3
100	32,2	29	37,1	31,6	31	25,9
125	28,6	31,2	29,5	31,8	28,4	30,9
160	28,9	28,3	29,5	29,6	28,7	28
200	26,8	26,4	26,8	26,5	26,6	26,2
250	22,9	22,8	22,8	22,5	22,4	22,5
315	21,5	21,9	21,4	21,9	21,1	21,8
400	22,9	21,3	22,8	21,4	22,6	21,2
500	21,5	21,4	21,5	21,4	21,4	21,4
630	21,9	24,9	22	24,7	22	24,8
800	22	24,1	22	24,2	21,7	23,8
1000	22,6	22,8	22,3	22,7	22,2	22,6
1250	21,6	21,3	21,3	21	21,3	21,2
1600	21,3	20,8	21	20,6	21,1	20,8
2000	22,2	22,4	22	22,2	22	22,4
2500	20,3	20,3	20,2	20,2	20,2	20,3
3150	20,4	20,9	20,5	20,8	20,6	20,9
4000	21,3	21,2	21,1	21,1	21,4	21,4
5000	18,1	16,1	17,8	16	18,3	16,3
6300	13,9	11,5	13,7	11,4	14	11,6
8000	10,9	9,9	10,4	9,8	10,6	10,1
10000	9,7	8,8	9,8	8,8	10	8,9
Tot.	42,9	41,7	44,0	42,5	44,9	41,8

MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	41,4	39,7	41,9	40,5	44,1	40,1
125	35,0	34,5	38,4	35,9	34,3	33,5
250	29,1	28,9	29,1	28,9	28,8	28,7
500	26,9	27,6	26,9	27,6	26,8	27,6
1000	26,9	27,7	26,7	27,6	26,5	27,4
2000	26,1	26,0	25,9	25,9	25,9	26,0
4000	24,9	24,7	24,8	24,6	25,1	24,8
Tot.	42,9	41,7	43,9	42,5	44,9	41,8
Keskiarvo	43,0					

LISÄTTY A-PAINOTUS

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	15,2	13,5	15,7	14,3	17,9	13,9
125	18,9	18,4	22,3	19,8	18,2	17,4
250	20,5	20,3	20,5	20,3	20,2	20,1
500	23,7	24,4	23,7	24,4	23,6	24,4
1000	26,9	27,7	26,7	27,6	26,5	27,4
2000	27,3	27,2	27,1	27,1	27,1	27,2
4000	25,9	25,7	25,8	25,6	26,1	25,8
Tot.	32,7	32,9	32,8	32,9	32,6	32,8
Keskiarvo	33					



**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	33,9	32,2	35,1	34,8	37	32,6
63	26,2	27,1	31,8	31	37,3	37
80	27,6	30,9	30,9	32,6	32,3	35,5
100	28,4	23	32,8	26,1	34,5	28
125	23,4	25,2	28,2	25,8	31,9	29,3
160	21,4	22,3	24,2	24,1	27,3	26,5
200	18,5	16,9	18,9	17,9	20,3	18,1
250	12,7	12,9	16,5	17,4	15,6	15,8
315	9,2	9,2	12,7	12,5	11,8	11,4
400	15,5	10,7	16	11,6	16,5	12
500	12,1	11,4	12,1	11,4	12,6	11,3
630	14	12,9	14,2	12,8	15,4	13,1
800	12,8	14,8	13	14,8	13,2	14,8
1000	12,8	12,1	12,8	12,3	12,8	12,3
1250	12,6	12,6	12,8	12,7	12,7	12,6
1600	10,6	12,7	10,9	12,7	11,9	11,4
2000	10,3	10,2	10,1	10,3	10,4	10,2
2500	10,5	9,9	10,3	9,9	10,7	9,8
3150	8,8	9,1	10,5	9,1	9,4	9
4000	11,3	10,6	8,9	10,5	11,3	10,5
5000	10,1	9,8	11,3	9,8	10	9,8
6300	8,7	8	10	8,1	8,8	8,1
8000	9	8,3	8,7	8,2	9,5	8,2
10000	9,3	8,4	9,2	8,4	9,3	8,4
Tot.	36,8	36,4	39,6	38,7	42,4	41,0

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	35,4	35,3	37,8	37,9	40,8	40,2
125	30,2	28,5	34,5	30,2	36,9	32,9
250	19,9	18,9	21,5	21,3	22,0	20,7
500	18,9	16,5	19,2	16,7	19,9	17,0
1000	17,5	18,1	17,6	18,2	17,7	18,2
2000	15,2	15,9	15,2	15,9	15,8	15,3
4000	15,0	14,6	15,1	14,6	15,1	14,6
Tot.	36,8	36,4	39,6	38,7	42,4	41,0
Keskiarvo	39,2					
IV-ääni	41					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	9,2	9,1	11,6	11,7	14,6	14,0
125	14,1	12,4	18,4	14,1	20,8	16,8
250	11,3	10,3	12,9	12,7	13,4	12,1
500	15,7	13,3	16,0	13,5	16,7	13,8
1000	17,5	18,1	17,6	18,2	17,7	18,2
2000	16,4	17,1	16,4	17,1	17,0	16,5
4000	16,0	15,6	16,1	15,6	16,1	15,6
Tot.	23,5	23,2	24,6	23,7	25,7	24,1
Keskiarvo	24					
IV-ääni	32					

## HUONE D124 IV- ÄÄNITASOT

## ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	32,3	34,4	33,8	35	33,7	35,7
63	30,7	32,4	32,8	34	34,3	35,6
80	31,6	30,1	32	30,9	33,8	32,2
100	30	31,5	30,5	31,5	31,4	32,1
125	31,1	32,9	31,5	33	31,9	33,2
160	32,9	31,7	33,2	31,9	33,3	31,8
200	31,4	30,7	31,5	30,5	31,5	30,4
250	33,7	33,6	33,5	33,9	33,9	34,2
315	30,2	30,9	30,3	31	31,2	32
400	26,9	27,6	26,8	27,6	28	29,1
500	27	25,8	27,2	25,9	29,8	29,2
630	22,7	22,4	22,6	22,5	24,3	24,1
800	20,6	20,2	20,5	20,1	21,3	21,2
1000	20,1	19,4	20	19,4	21,1	20,4
1250	18,8	18,7	18,9	18,7	19,3	19,2
1600	17,2	16,5	16,9	16,7	17,4	17
2000	17,5	17	17,4	17,2	17,7	17,3
2500	15,6	15,3	15,5	15,4	15,8	15,6
3150	12,5	12,4	12,7	13	12,7	12,8
4000	13,1	13,2	13,2	13,5	13,1	13,2
5000	9,9	9	9,7	9,3	9,5	9
6300	9,5	8,4	9,1	8,5	9,1	8,3
8000	8,7	7,9	8,7	7,8	8,3	7,6
10000	9,4	8	9,1	8,1	9	8,2
Tot.	41,8	42,2	42,3	42,6	43,0	43,4

## MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	36,4	37,4	37,7	38,4	38,7	39,5
125	36,3	36,8	36,7	37,0	37,0	37,2
250	36,8	36,7	36,7	36,8	37,1	37,3
500	30,7	30,5	30,7	30,6	32,7	32,8
1000	24,7	24,2	24,6	24,2	25,4	25,1
2000	21,6	21,1	21,4	21,3	21,8	21,5
4000	16,8	16,6	16,9	17,1	16,8	16,8
Tot.	41,8	42,2	42,3	42,6	43,0	43,4
Keskiarvo	42,6					

## LISÄTTY A-PAINOTUS

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	10,2	11,2	11,5	12,2	12,5	13,3
125	20,2	20,7	20,6	20,9	20,9	21,1
250	28,2	28,1	28,1	28,2	28,5	28,7
500	27,5	27,3	27,5	27,4	29,5	29,6
1000	24,7	24,2	24,6	24,2	25,4	25,1
2000	22,8	22,3	22,6	22,5	23,0	22,7
4000	17,8	17,6	17,9	18,1	17,8	17,8
Tot.	32,7	32,6	32,7	32,7	33,7	33,7
Keskiarvo	33,0					



**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	33,9	37,1	35,5	37,9	27,4	29,2
63	29,1	32,1	29,3	28,3	31,1	33,4
80	28,7	26,8	29,5	28,5	28,7	26
100	31,4	28,8	33,7	30,8	28,1	26
125	23,6	22	24,3	21,9	22	20
160	15,5	17,5	14,5	16,9	14	15,4
200	13,9	13,1	13,8	12,1	13,6	11,1
250	8,9	8,6	9,4	8,4	9,7	8,2
315	7,7	8,2	7,5	7,9	7,7	7,9
400	6,2	7,3	6,1	7,1	6,3	7,4
500	6,5	5,6	7,9	5,5	7,7	5,3
630	3,8	4,3	5,1	4,6	3,7	3,8
800	4,8	5	4,8	5,2	4,8	5,2
1000	7,2	7,4	7,8	8,1	7,4	7,9
1250	5,9	6,1	6,4	6,5	5,8	6
1600	8,3	8	7,8	7,4	7,8	7,3
2000	10,1	10,3	9,6	10	9,7	10
2500	13,4	12,8	13,2	12,7	13,2	12,6
3150	10	9,8	9,8	9,6	9,7	9,6
4000	12,6	12,1	12,4	12,1	12,5	12
5000	8,6	7,9	8,5	7,8	8,4	7,8
6300	8,6	7,8	8,5	7,8	8,6	7,8
8000	8,1	7,6	8,2	7,7	8,2	7,7
10000	8,9	8,3	9	8,3	9	8,3
Tot.	37,6	39,2	39,1	39,6	35,5	36,1

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	36,0	38,6	37,2	38,8	34,1	35,3
125	32,2	29,9	34,2	31,5	29,2	27,3
250	15,8	15,3	15,8	14,7	15,8	14,1
500	10,4	10,7	11,3	10,6	11,0	10,5
1000	10,8	11,0	11,3	11,5	10,9	11,3
2000	15,9	15,6	15,6	15,3	15,6	15,3
4000	15,5	15,0	15,3	15,0	15,3	14,9
Tot.	37,6	39,2	39,1	39,6	35,5	36,1
Keskiarvo	37,8					
IV-ääni	41					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	9,8	12,4	11,0	12,6	7,9	9,1
125	16,1	13,8	18,1	15,4	13,1	11,2
250	7,2	6,7	7,2	6,1	7,2	5,5
500	7,2	7,5	8,1	7,4	7,8	7,3
1000	10,8	11,0	11,3	11,5	10,9	11,3
2000	17,1	16,8	16,8	16,5	16,8	16,5
4000	16,5	16,0	16,3	16,0	16,3	15,9
Tot.	22,3	21,8	22,9	22,1	21,5	21,0
Keskiarvo	21,9					
IV-ääni	33					

HUONE D125 IV- ÄÄNITASOT

ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	42,8	43,8	41,9	43,5	41,3	42,8
63	39	36,5	35,3	32,5	37,7	34,8
80	40,5	38	34,6	32,5	37,4	34,2
100	35,7	35,9	32,6	35,9	33	34,3
125	36,9	35,9	35,9	34,8	34,9	34,3
160	33,6	33,9	32,3	32,4	32,6	32,5
200	32,9	31,3	32	30,9	32,4	31,1
250	26,9	28,3	26,6	28,2	26,9	28,1
315	26,2	27,1	26,4	27	26,4	27,1
400	24,8	27	24,8	27,1	25	27,1
500	24,9	26,6	24,9	26,6	25,1	26,7
630	26,9	28,2	26,8	28,1	27	28,2
800	28,3	29,8	28,2	29,7	28,4	29,8
1000	28,5	28,7	28,5	28,5	28,6	28,8
1250	27,7	27,4	27,5	27,3	27,9	27,5
1600	24,5	24,9	24,5	24,7	24,8	25
2000	26,2	25,7	26	25,6	26,2	25,7
2500	23,4	24	23,2	23,9	23,5	24,1
3150	20,6	21,1	20,5	20,8	20,6	21
4000	21,9	22,2	21,6	22	21,9	22,2
5000	19,9	20,4	19,7	20,3	20	20,4
6300	13	13,1	12,9	12,8	13,1	13,1
8000	9,4	9,5	9,4	9,4	9,6	9,5
10000	10,2	9	10,0	9	9,9	9,1
Tot.	47,5	47,2	45,6	46,2	45,9	46,0

MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	45,8	45,4	43,4	44,1	44,0	43,9
125	40,4	40,1	38,7	39,4	38,4	38,5
250	34,6	34,0	33,9	33,8	34,3	33,9
500	30,4	32,1	30,4	32,1	30,6	32,2
1000	33,0	33,5	32,9	33,4	33,1	33,6
2000	29,6	29,7	29,5	29,6	29,7	29,8
4000	25,7	26,1	25,4	25,9	25,7	26,0
Tot.	47,5	47,2	45,6	46,2	45,9	46,0
Keskiarvo	46,4					

LISÄTTY A-PAINOTUS

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	19,6	19,2	17,2	17,9	17,8	17,7
125	24,3	24,0	22,6	23,3	22,3	22,4
250	26,0	25,4	25,3	25,2	25,7	25,3
500	27,2	28,9	27,2	28,9	27,4	29,0
1000	33,0	33,5	32,9	33,4	33,1	33,6
2000	30,8	30,9	30,7	30,8	30,9	31,0
4000	26,7	27,1	26,4	26,9	26,7	27,0
Tot.	36,9	37,4	36,7	37,2	36,9	37,3
Keskiarvo	37					



**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	30,3	29,1	29,5	29,5	27,7	29,5
63	27,5	29	27,8	33,1	25,9	27,9
80	31,1	28,7	26,1	23,4	21,2	21,5
100	29,6	28,6	26,2	23,1	24,5	23,4
125	22,3	23,1	17,5	17,7	13,6	18,7
160	18,8	20	15,1	16,3	9,4	12,3
200	15	14,8	12	12,5	6,4	8,4
250	9,4	10,1	7,8	8,3	5	5,8
315	11,1	23,3	10,6	13,1	10,1	12,8
400	5,8	5,6	5,8	6,8	5,2	6
500	6,4	5,6	6,4	5,8	5,9	5,4
630	6,5	6,6	7,6	7,3	6,3	6,9
800	8,2	9,7	9,3	10,4	8,6	9,9
1000	10,6	10,4	11,9	11,6	11,1	10,6
1250	9,8	9,9	10,2	10,4	9,8	9,8
1600	10	9,7	11,3	11,2	9,9	9,6
2000	9,7	9,4	9,7	9,8	9,2	9,1
2500	8,8	8,6	8,6	8,5	8	8,1
3150	8	8,1	8	8,2	7,2	7,4
4000	12,6	12,3	12,7	12,6	12,5	12,4
5000	9	8,4	9,7	9,2	8,9	8,4
6300	9,1	8,3	9,6	9,2	9,1	8,3
8000	10,7	8	10,9	8,7	10,8	8
10000	9,4	8,9	9,7	9,5	9,4	8,9
Tot.	36,3	35,7	34,1	35,6	31,9	33,2

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	34,7	33,7	32,8	35,0	30,5	32,2
125	30,6	30,1	27,0	24,9	25,0	24,9
250	17,3	24,1	15,2	16,5	12,5	14,7
500	11,0	10,7	11,4	11,4	10,6	10,9
1000	14,4	14,8	15,4	15,6	14,7	14,9
2000	14,3	14,0	14,8	14,7	13,9	13,7
4000	15,1	14,8	15,3	15,2	14,9	14,7
Tot.	36,3	35,7	34,1	35,6	31,9	33,2
Keskiarvo	34,4					
IV-ääni	46					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	8,5	7,5	6,6	8,8	4,3	6,0
125	14,5	14,0	10,9	8,8	8,9	8,8
250	8,7	15,5	6,6	7,9	3,9	6,1
500	7,8	7,5	8,2	8,2	7,4	7,7
1000	14,4	14,8	15,4	15,6	14,7	14,9
2000	15,5	15,2	16,0	15,9	15,1	14,9
4000	16,1	15,8	16,3	16,2	15,9	15,7
Tot.	21,8	22,4	21,6	21,6	20,8	20,8
Keskiarvo	22					
IV-ääni	37					

WC D129 IV- ÄÄNITASOT

ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	61,1	60,5	61,2	60,5	60,8	60,2
63	44,8	45	44,9	45	44,3	44,6
80	46,9	55	46,4	54,4	47,2	55,2
100	40,4	48,1	40,1	47,8	40,1	47,9
125	51,9	49,3	51,9	49,7	51,4	49,2
160	58,2	57,3	59	58,4	58,4	57,6
200	51,9	49,2	51,8	49	51,6	48,6
250	45,9	45,5	45,8	45,9	45,7	45,1
315	44,7	47,3	44,7	47,4	44,9	47,3
400	46	51,1	46,1	51,5	46,2	51,2
500	48,1	47,3	48,3	47,4	48,3	47,3
630	45,8	43,3	45,7	43,3	45,8	43,3
800	44,6	45,4	44,7	45,4	44,5	45,3
1000	46,5	45,7	46,5	45,7	46,5	45,7
1250	52,7	51,9	52,7	52	52,7	52
1600	56,3	55,1	56,2	55,1	56,3	55,2
2000	54,5	53,6	54,5	53,6	54,6	53,7
2500	57	57,2	57	57,3	57	57,2
3150	57,5	56,7	57,5	56,6	57,6	56,7
4000	56	54,9	56	54,9	56,1	54,9
5000	51,6	49,5	51,5	49,5	51,6	49,5
6300	43,7	41,6	43,8	41,6	43,9	41,7
8000	39,4	37,6	39,4	37,6	39,5	37,7
10000	34,5	33,4	34,6	33,4	34,6	33,5
Tot.	67,1	66,7	67,3	66,9	67,1	66,7

MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	61,4	61,7	61,4	61,6	61,1	61,5
125	59,2	58,4	59,8	59,3	59,2	58,6
250	53,5	52,4	53,4	52,4	53,3	52,0
500	51,5	53,1	51,6	53,4	51,7	53,2
1000	54,1	53,6	54,2	53,6	54,1	53,6
2000	60,8	60,3	60,8	60,4	60,8	60,4
4000	60,4	59,4	60,4	59,3	60,5	59,4
Tot.	67,1	66,7	67,2	66,8	67,1	66,7
Keskiarvo	66,9					

LISÄTTY A-PAINOTUS

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	35,2	35,5	35,2	35,4	34,9	35,3
125	43,1	42,3	43,7	43,2	43,1	42,5
250	44,9	43,8	44,8	43,8	44,7	43,4
500	50,9	50,4	51,0	50,4	50,9	50,4
1000	54,1	53,6	54,2	53,6	54,1	53,6
2000	62,0	61,5	62,0	61,6	62,0	61,6
4000	61,4	60,4	61,4	60,3	61,5	60,4
Tot.	65,3	64,6	65,3	64,6	65,4	64,6
Keskiarvo	65,0					



**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	19,1	18,5	19	18,4	21,1	20,9
63	15,7	17	15,3	16,5	17,1	18,2
80	17,5	25,5	16,4	24,6	16,9	24,8
100	15,7	17,9	15,7	17,9	16,4	18,9
125	16,5	12,2	17,6	13	18,3	13,9
160	18	17,1	18,5	18,1	19,7	18,7
200	8,9	5,3	9,3	5,3	9,9	5,6
250	9,5	10,4	9,3	9,9	9,5	10,2
315	8,4	9,8	8,4	9,4	8,5	9,3
400	9,4	10	7,8	9	8,1	9,4
500	8,6	10	7,6	8,7	7,6	8,7
630	11,7	10,7	11,2	9,8	11,2	9,9
800	8,2	8	7,2	7,3	7,1	7,1
1000	6,1	6,3	4,9	5,5	5	5,3
1250	5,7	6,2	5,2	5,6	5	5,5
1600	5,4	5,6	4,4	4,6	4,4	4,7
2000	5,4	5,5	4,5	4,7	4,6	4,9
2500	6,3	6,2	4,7	5	5	5,3
3150	5,7	5,7	5	5,3	5,3	5,5
4000	5,5	5,5	5,2	5,2	5,4	5,4
5000	5,8	5,7	5,6	5,5	5,8	5,6
6300	6,1	5,7	5,9	5,5	6	5,6
8000	8,1	5,8	7,9	5,7	7,8	5,7
10000	6,6	5,8	6,6	5,7	6,6	5,7
Tot.	26,3	28,5	26,2	28,0	27,2	28,8

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	22,4	26,8	22,0	26,0	23,6	26,9
125	21,6	21,1	22,2	21,6	23,1	22,5
250	13,7	13,8	13,8	13,4	14,1	13,5
500	14,9	15,0	14,0	14,0	14,0	14,1
1000	11,6	11,7	10,7	11,0	10,6	10,8
2000	10,5	10,5	9,3	9,5	9,4	9,7
4000	10,4	10,4	10,0	10,1	10,3	10,3
Tot.	26,1	28,4	26,0	28,0	27,1	28,7
Keskiarvo	27,4					
IV-ääni	67					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,7
125	5,5	5,0	6,1	5,5	7,0	6,4
250	5,1	5,2	5,2	4,8	5,5	4,9
500	8,4	8,5	7,5	7,8	7,4	7,6
1000	11,6	11,7	10,7	11,0	10,6	10,8
2000	11,7	11,7	10,5	10,7	10,6	10,9
4000	11,4	11,4	11,0	11,1	11,3	11,3
Tot.	17,6	17,6	17,0	17,1	17,1	17,2
Keskiarvo	17,3					
IV-ääni	65					

D-Käytävän IV- ÄÄNITASOT

ILMANVAIHTO PÄÄLLÄ

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	50,8	47,3	50,1	47,3	49,9	47,1
63	48,5	45,5	48,5	45,4	48,4	45,7
80	45,9	43,5	45,3	43,3	45,8	43,5
100	44,8	43,6	44,6	43,3	44,4	43,2
125	45,2	42,8	44,7	42,7	44,7	42,4
160	42,6	43	42,5	42,9	42,1	42,6
200	38,5	40,1	38,5	39,9	38,4	39,8
250	37,2	37,8	37,1	37,5	37,2	37,5
315	33,1	37	32,9	36,7	33,1	36,7
400	30,5	32	30,4	32	30,4	31,9
500	32,1	33,7	31,9	33,4	31,9	33,6
630	31,9	34,3	31,7	34,1	31,5	34
800	29,9	31,9	29,7	31,7	29,7	31,7
1000	29,5	31,9	29,2	31,8	29,2	31,7
1250	31,7	31,8	31,5	31,8	31,6	31,7
1600	31,5	31,4	31,5	31,3	31,4	31,2
2000	28,4	28,6	28,2	28,4	28,1	28,4
2500	23,5	24	23,3	23,8	23,2	23,8
3150	20,2	21,4	20	21,2	19,9	21,2
4000	18,8	19,6	18,7	19,5	18,6	19,5
5000	14,2	16	14	15,9	14	15,9
6300	10,7	11,9	10,5	11,8	10,5	11,7
8000	8,8	8,6	8,8	8,6	8,9	8,6
10000	7,2	6,6	7,1	6,6	7	6,6
Tot.	55,3	53,2	54,9	53,1	54,8	53,0

MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	53,6	50,5	53,2	50,4	53,1	50,4
125	49,1	47,9	48,8	47,7	48,6	47,5
250	41,6	43,3	41,5	43,0	41,5	43,0
500	36,3	38,2	36,2	38,0	36,1	38,0
1000	35,2	36,6	35,0	36,5	35,1	36,5
2000	33,7	33,7	33,6	33,6	33,5	33,5
4000	23,2	24,3	23,0	24,1	22,9	24,1
Tot.	55,3	53,2	54,9	53,1	54,8	53,0
Keskiarvo	54,0					

LISÄTTY A-PAINOTUS

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	27,4	24,3	27,0	24,2	26,9	24,2
125	33,0	31,8	32,7	31,6	32,5	31,4
250	33,0	34,7	32,9	34,4	32,9	34,4
500	33,1	35,0	33,0	34,8	32,9	34,8
1000	35,2	36,6	35,0	36,5	35,1	36,5
2000	34,9	34,9	34,8	34,8	34,7	34,7
4000	24,2	25,3	24,0	25,1	23,9	25,1
Tot.	41,2	42,0	41,1	41,9	41,0	41,8
Keskiarvo	41					



**ILMANVAIHTO POIS PÄÄLTÄ**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
50	30,8	28,2	27,9	26,5	30,1	26,5
63	25,8	24,2	25,8	24	24,7	22,9
80	25,1	25	27	26,7	26,9	26,8
100	21,4	21,6	15,1	15	18,5	18,8
125	17,1	16,1	15	15,6	17,8	17,2
160	9	11,5	9,8	11,4	10	11,4
200	13,7	12,3	16	12,3	13,2	10,8
250	6,6	7,8	13	12,1	7,5	8,6
315	4,4	5,7	10,3	9,1	7,2	7,8
400	2,9	3,2	11,2	10,7	6,6	7,4
500	2,2	3,6	11,6	9,8	7,1	7,4
630	1,6	3,1	10,5	9,6	7,7	8,2
800	2	2	13,5	13,5	13,1	12,6
1000	1,7	2,2	14,4	15,2	16,2	15,6
1250	2,4	2,9	15,9	15,7	13	12,9
1600	2,8	3,6	13,3	13,6	10,3	10,9
2000	3,2	3,7	9,6	10,8	9	9,6
2500	3,6	4,1	8,6	8	7,6	7,1
3150	4,2	4,5	7,4	7,4	7,6	7,6
4000	4,9	4,9	6,1	5,9	5,6	5,5
5000	5,4	5,2	5,9	5,6	5,9	5,6
6300	5,7	5,4	6,3	5,8	5,9	5,5
8000	6,6	5,4	6,9	5,5	7	5,5
10000	6,6	5,4	6,5	5,4	6,4	5,3
Tot.	33,4	31,8	32,6	31,7	33,3	31,6

**MUUTOS OKTAAVIKAISTOIKSI**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	32,8	30,9	31,8	30,7	32,6	30,5
125	23,0	23,0	18,7	19,1	21,5	21,5
250	14,9	14,3	18,5	16,2	15,0	14,0
500	7,0	8,1	15,9	14,8	11,9	12,5
1000	6,8	7,2	19,5	19,7	19,1	18,7
2000	8,0	8,6	15,8	16,2	13,9	14,2
4000	9,6	9,6	11,3	11,1	11,2	11,1
Tot.	33,3	31,7	32,6	31,7	33,3	31,5
Keskiarvo	32,4					
IV-ääni	54					

**LISÄTTY A-PAINOTUS**

Hz	Mittaus 1A	Mittaus 1B	Mittaus 2A	Mittaus 2B	Mittaus 3A	Mittaus 3B
63	6,6	4,7	5,6	4,5	6,4	4,3
125	6,9	6,9	2,6	3,0	5,4	5,4
250	6,3	5,7	9,9	7,6	6,4	5,4
500	3,8	4,9	12,7	11,6	8,7	9,3
1000	6,8	7,2	19,5	19,7	19,1	18,7
2000	9,2	9,8	17,0	17,4	15,1	15,4
4000	10,6	10,6	12,3	12,1	12,2	12,1
Tot.	16,1	16,1	22,8	22,8	21,8	21,6
Keskiarvo	20					
IV-ääni	41					

## D122-D123 välinen ääneneristävyys ja D123 Jälkikaiunta-aika

## Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

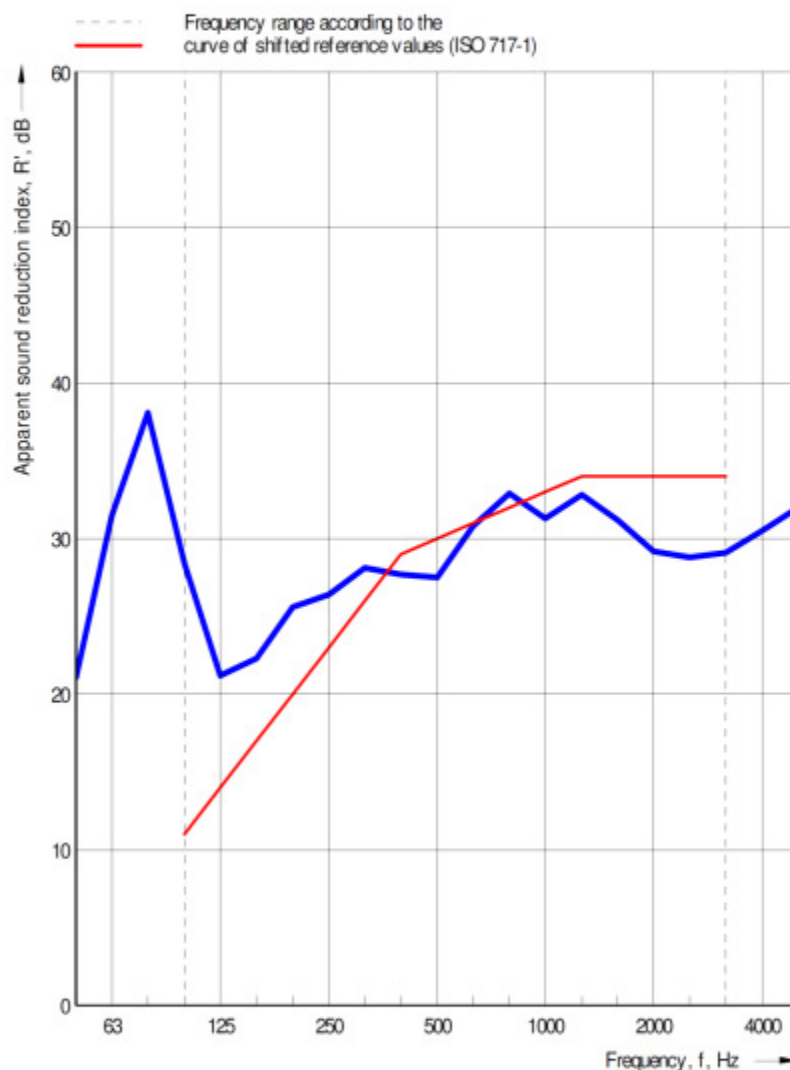
Client:  
Kuvas Lähetyshuone D122 ja vastaanottohuone D123

Date of test: 13.12.11

Kohde Kalevankankaan koulu

Area S of separating element: 20,90 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 182,7 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 64,8 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	21,1
63	31,5
80	38,1
100	28,4
125	21,2
160	22,3
200	25,6
250	26,4
315	28,1
400	27,7
500	27,5
630	30,8
800	32,9
1 000	31,3
1 250	32,8
1 600	31,2
2 000	29,2
2 500	28,8
3 150	29,1
4 000	30,5
5 000	32,0



## Rating according to ISO 717-1

 $R'_{w}(C;C_{tr}) = 30 (0; -1) \text{ dB}$ 

Evaluation based on field measurement results  
obtained  
in one-third-octave bands by an engineering

 $C_{50-3150} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-3150} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,100-5000} = -1 \text{ dB}$ 

Company:

**No. of test report:**

Date: 14.12.2011

Signature:

Risto-Matti Remes

## D122-D123 välinen ääneneristävyys ja D123 Jälkikaiunta-aika

<b>Frequency</b>	<b>Average</b>			<b>#04 Tausta-IV</b>			<b>#05 Tausta-IV</b>			<b>#06 Tausta-IV</b>		
<b>[Hz]</b>	<b>T avg</b>	<b>SD</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>
50	1,73	0,04	3	1,78		1	1,71		1	1,70		1
63	1,23	0,13	3	1,14		1	1,18		1	1,38		1
80	1,23	0,10	3	1,14		1	1,22		1	1,34		1
100	1,23	0,08	3	1,14		1	1,27		1	1,27		1
125	1,06	0,12	3	1,16		1	0,93		1	1,10		1
160	0,72	0,09	3	0,64		1	0,81		1	0,71		1
200	0,60	0,03	3	0,60		1	0,57		1	0,63		1
250	0,61	0,09	3	0,64		1	0,51		1	0,67		1
315	0,53	0,05	3	0,49		1	0,53		1	0,58		1
400	0,51	0,01	3	0,50		1	0,51		1	0,52		1
500	0,56	0,05	3	0,59		1	0,58		1	0,50		1
630	0,51	0,08	3	0,53		1	0,58		1	0,43		1
800	0,47	0,03	3	0,50		1	0,47		1	0,45		1
1 000	0,68	0,02	3	0,66		1	0,68		1	0,69		1
1 250	0,76	0,03	3	0,75		1	0,79		1	0,73		1
1 600	0,80	0,02	3	0,82		1	0,78		1	0,80		1
2 000	0,81	0,02	3	0,81		1	0,83		1	0,79		1
2 500	0,80	0,04	3	0,84		1	0,80		1	0,76		1
3 150	0,75	0,03	3	0,78		1	0,74		1	0,72		1
4 000	0,68	0,01	3	0,67		1	0,68		1	0,69		1
5 000	0,61	0,02	3	0,61		1	0,59		1	0,62		1

## D124 ja D125 välinen ääneneristävyys ja D125 Jälkikaiunta-aika

## Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

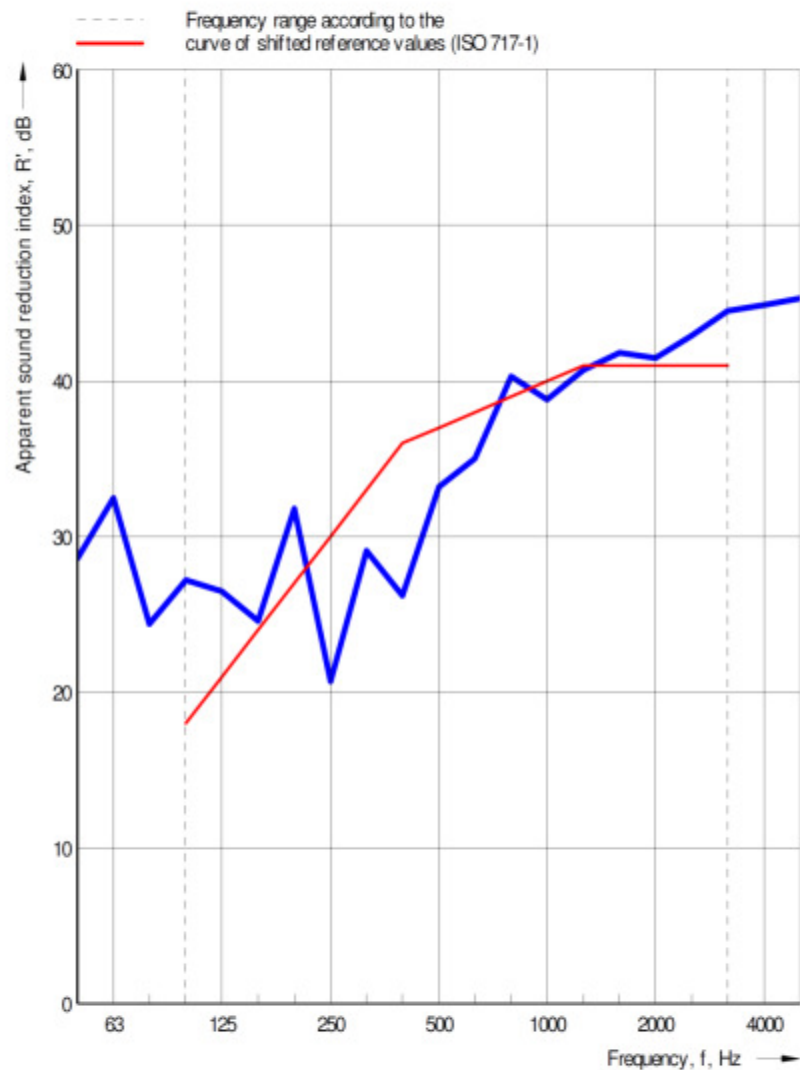
Client:  
Kuvas Lähetyshuone D124 ja vastaanottohuone D125

Date of test: 13.12.11

Kohde Kalevankankaan koulu

Area S of separating element: 18,90 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 184,4 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 175,2 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	28,6
63	32,5
80	24,4
100	27,2
125	26,5
160	24,6
200	31,8
250	20,7
315	29,1
400	26,2
500	33,2
630	35,0
800	40,3
1 000	38,8
1 250	40,7
1 600	41,8
2 000	41,5
2 500	42,9
3 150	44,5
4 000	44,9
5 000	45,3



## Rating according to ISO 717-1

 $R'_{w}(C;C_p) = 37 (-2; -5) \text{ dB}$ 

Evaluation based on field measurement results  
obtained  
in one-third-octave bands by an engineering

 $C_{50-3150} = -2 \text{ dB}$ 
 $C_{T,50-3150} = -5 \text{ dB}$ 
 $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{T,50-5000} = -5 \text{ dB}$ 
 $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{T,100-5000} = -5 \text{ dB}$ 

Company:

**No. of test report:**

Date: 14.12.2011

Signature:

Risto-Matti Remes

## D124 ja D125 välinen ääneneristävyys ja D125 Jälkikaiunta-aika

<b>Frequency</b>	<b>Average</b>			<b>#04 D124-125</b>			<b>#05 D124-125</b>			<b>#06 D124-125</b>		
<b>[Hz]</b>	<b>T avg</b>	<b>SD</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>
50	1,22	0,08	3	1,13	?	1	1,25		1	1,27	?	1
63	1,14	0,21	3	1,37		1	1,06	?	1	0,98		1
80	1,07	0,24	3	1,34		1	0,90		1	0,96		1
100	0,85	0,07	3	0,90		1	0,77		1	0,89		1
125	0,98	0,08	3	0,93		1	0,94		1	1,08		1
160	1,09	0,14	3	0,97		1	1,05		1	1,25		1
200	0,71	0,03	3	0,74		1	0,69		1	0,71		1
250	0,67	0,07	3	0,59		1	0,70		1	0,71		1
315	0,69	0,03	3	0,67		1	0,72		1	0,68		1
400	0,61	0,03	3	0,63		1	0,63		1	0,57		1
500	0,60	0,03	3	0,58		1	0,58		1	0,63		1
630	0,60	0,04	3	0,59		1	0,65		1	0,57		1
800	0,63	0,01	3	0,63		1	0,63		1	0,62		1
1 000	0,70	0,01	3	0,71		1	0,69		1	0,70		1
1 250	0,79	0,02	3	0,76		1	0,80		1	0,80		1
1 600	0,93	0,03	3	0,93		1	0,95		1	0,90		1
2 000	0,92	0,02	3	0,90		1	0,92		1	0,93		1
2 500	0,89	0,01	3	0,89		1	0,88		1	0,89		1
3 150	0,87	0,03	3	0,86		1	0,90		1	0,84		1
4 000	0,73	0,01	3	0,72		1	0,73		1	0,74		1
5 000	0,62	0,02	3	0,60		1	0,63		1	0,63		1



## D-käytävä – D124 välinen ääneneristävyys ja D124 jälkikaiunta-aika

## Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

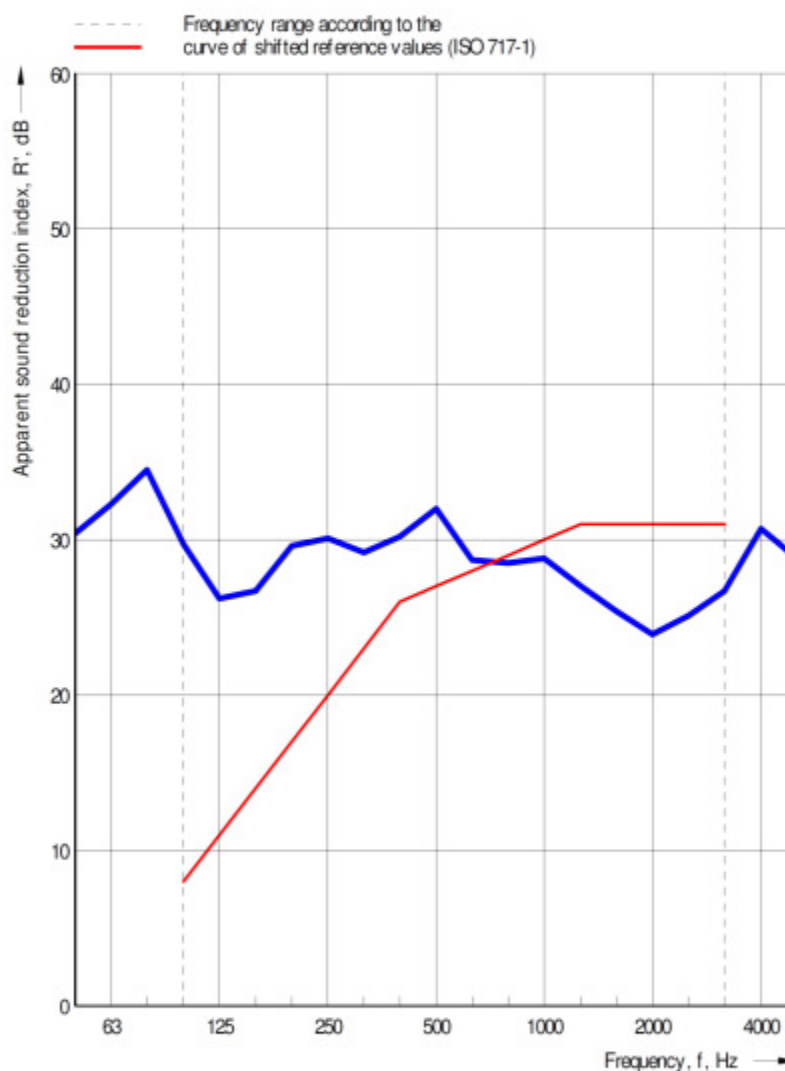
Client:  
Kuvaus Lähetyshuone D-käytävä ja vastaanottohuone D124

Date of test: 13.12.11

Kohde Kalevankankaan koulu

Area S of separating element: 22,23 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 104,7 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 184,4 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	30,4
63	32,3
80	34,5
100	29,7
125	26,2
160	26,7
200	29,6
250	30,1
315	29,2
400	30,2
500	32,0
630	28,7
800	28,5
1 000	28,8
1 250	27,0
1 600	25,4
2 000	23,9
2 500	25,1
3 150	26,7
4 000	30,7
5 000	28,8



## Rating according to ISO 717-1

 $R'_{w}(C;C_{tr}) = 27 (-1;0) \text{ dB}$ 

Evaluation based on field measurement results  
obtained  
in one-third-octave bands by an engineering

 $C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-3150} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-5000} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,100-5000} = 0 \text{ dB}$ 

Company:

**No. of test report:**

Date: 14.12.2011

Signature:

Risto-Matti Remes

## D-käytävä – D124 välinen ääneneristävyys ja D124 jälkikaiunta-aika

<i>Frequency</i>	<i>Average</i>			#04 Käytävä-D			#05 Käytävä-D			#06 Käytävä-D		
<i>[Hz]</i>	<i>T avg</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>
50	0,86	0,07	3	0,93		1	0,80		1	0,84		1
63	1,27	0,27	3	1,32		1	1,51		1	0,98		1
80	1,39	0,17	3	1,43		1	1,20		1	1,54		1
100	1,31	0,03	3	1,30		1	1,28		1	1,34		1
125	0,66	0,08	3	0,71		1	0,69		1	0,57		1
160	0,65	0,06	3	0,72		1	0,61		1	0,63		1
200	0,66	0,04	3	0,66		1	0,63		1	0,70		1
250	0,71	0,02	3	0,70		1	0,73		1	0,70		1
315	0,76	0,10	3	0,86		1	0,75		1	0,66		1
400	0,68	0,06	3	0,72		1	0,70		1	0,61		1
500	0,70	0,03	3	0,69		1	0,68		1	0,73		1
630	0,68	0,05	3	0,65		1	0,73		1	0,65		1
800	0,69	0,05	3	0,63		1	0,70		1	0,73		1
1 000	0,75	0,02	3	0,74		1	0,78		1	0,74		1
1 250	0,78	0,04	3	0,78		1	0,74		1	0,81		1
1 600	0,78	0,02	3	0,80		1	0,77		1	0,78		1
2 000	0,85	0,03	3	0,88		1	0,84		1	0,83		1
2 500	0,78	0,02	3	0,76		1	0,79		1	0,78		1
3 150	0,79	0,03	3	0,77		1	0,82		1	0,79		1
4 000	0,74	0,01	3	0,75		1	0,75		1	0,73		1
5 000	0,66	0,05	3	0,61		1	0,70		1	0,67		1

## Tekn.tila – ATK-luokan välinen ääneneristävyys ja ATK-luokan jälkikaiunta-aika

## Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

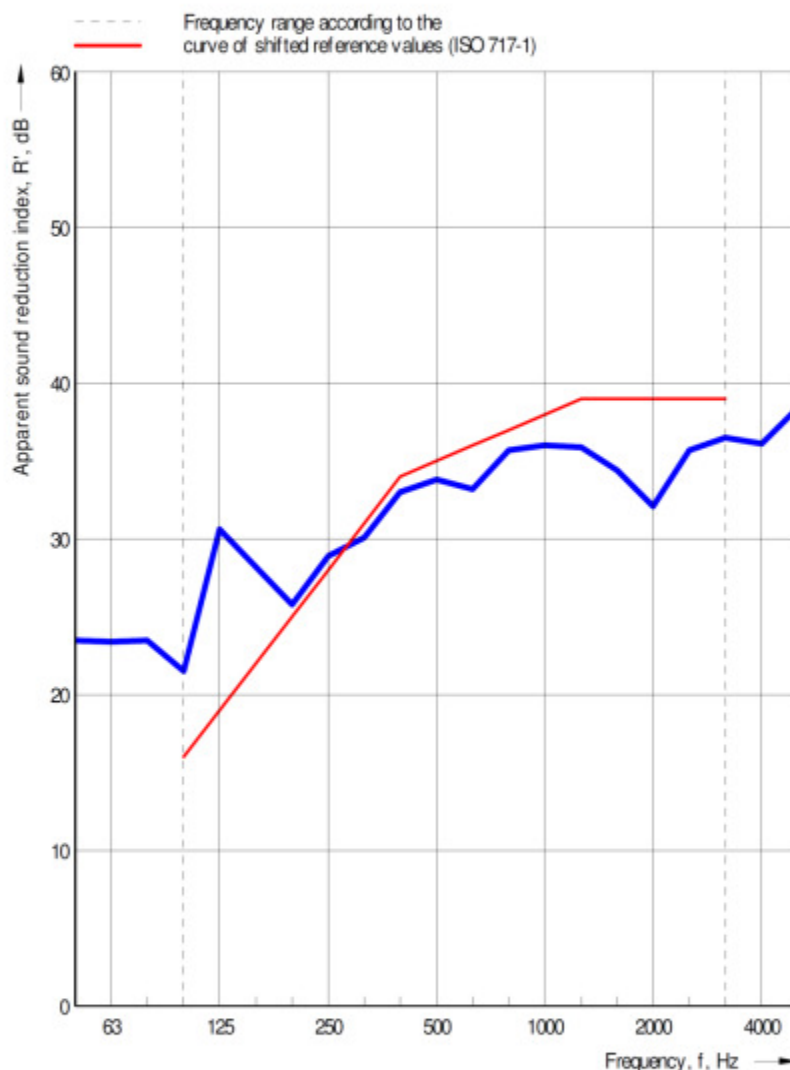
Client:  
 Kuvaus Lähetyshuone Tekninentila ja vastaanottohuone Atk-luokka

Date of test: 13.12.11

Kohde Kalevankankaan koulu

Area S of separating element: 18,80 m<sup>2</sup>  
 Source room volume: 321,2 m<sup>3</sup>  
 Receiving room volume: 149,6 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	23,5
63	23,4
80	23,5
100	21,5
125	30,6
160	28,2
200	25,8
250	28,9
315	30,1
400	33,0
500	33,8
630	33,2
800	35,7
1 000	36,0
1 250	35,9
1 600	34,4
2 000	32,1
2 500	35,7
3 150	36,5
4 000	36,1
5 000	38,4



## Rating according to ISO 717-1

 $R'_{w}(C;C_p) = 35 (-1; -2) \text{ dB}$ 

Evaluation based on field measurement results  
 obtained  
 in one-third-octave bands by an engineering

 $C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{T,50-3150} = -3 \text{ dB}$ 
 $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{T,50-5000} = -3 \text{ dB}$ 
 $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{T,100-5000} = -2 \text{ dB}$ 

Company:

**No. of test report:**

Date: 14.12.2011

Signature:

Risto-Matti Remes



## Tekn.tila – ATK-luokan välinen ääneneristävyys ja ATK-luokan jälkikaiunta-aika

<i>Frequency</i>	<i>Average</i>			<i>#04 Untitled</i>			<i>#05 Untitled</i>			<i>#06 Untitled</i>		
<i>[Hz]</i>	<i>T avg</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>
50	1,55	0,07	3	1,60		1	1,47		1	1,57		1
63	1,61	0,28	3	1,34		1	1,59		1	1,89		1
80	1,47	0,03	3	1,45		1	1,47		1	1,50		1
100	1,27	0,21	3	1,48		1	1,27		1	1,07		1
125	1,43	0,25	3	1,70		1	1,22		1	1,36		1
160	1,14	0,05	3	1,09		1	1,19		1	1,13		1
200	1,05	0,07	3	1,09		1	0,97		1	1,10		1
250	0,90	0,08	3	0,99		1	0,88		1	0,83		1
315	0,78	0,01	3	0,78		1	0,78		1	0,79		1
400	0,80	0,02	3	0,78		1	0,82		1	0,81		1
500	0,84	0,04	3	0,83		1	0,81		1	0,89		1
630	0,79	0,04	3	0,82		1	0,75		1	0,80		1
800	0,84	0,05	3	0,88		1	0,86		1	0,78		1
1 000	0,80	0,02	3	0,82		1	0,81		1	0,78		1
1 250	0,85	0,02	3	0,87		1	0,84		1	0,85		1
1 600	0,96	0,04	3	0,92		1	0,97		1	1,00		1
2 000	1,01	0,06	3	0,95		1	1,02		1	1,07		1
2 500	1,03	0,03	3	1,00		1	1,05		1	1,05		1
3 150	1,07	0,01	3	1,07		1	1,06		1	1,07		1
4 000	0,89	0,03	3	0,92		1	0,87		1	0,88		1
5 000	0,78	0,02	3	0,76		1	0,78		1	0,79		1

## E120 – E119 välinen ääneneristävyys ja E119 jälkikaiunta-aika

## Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

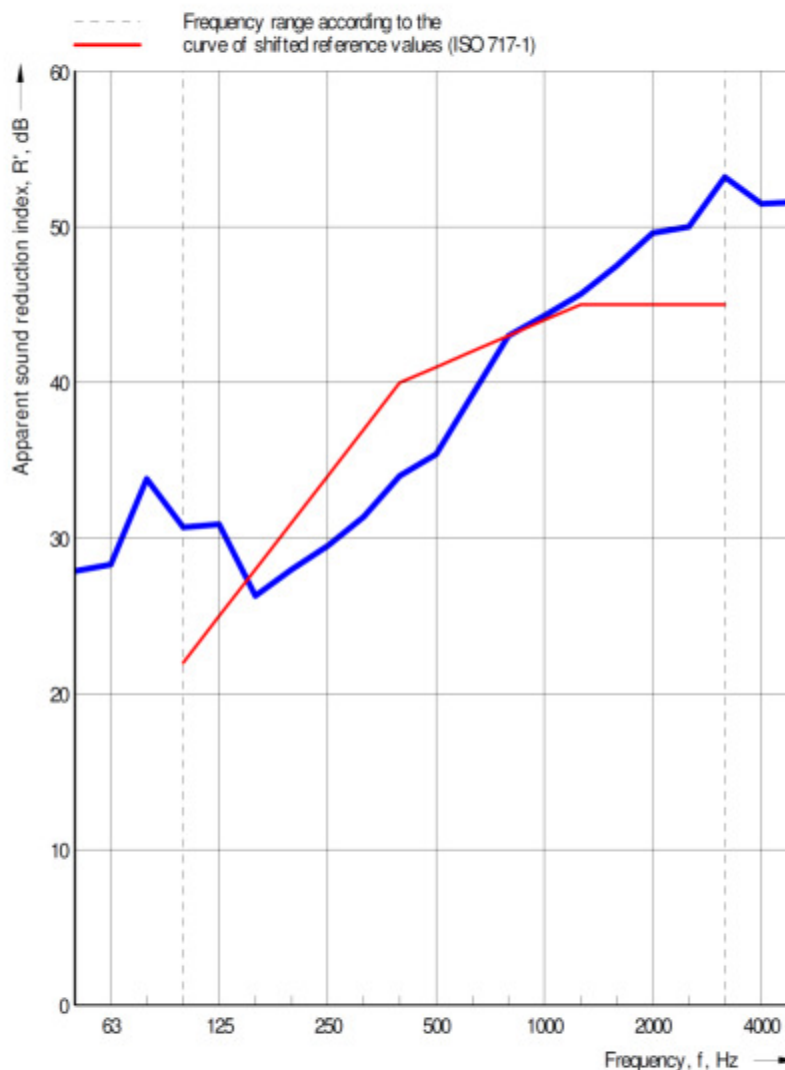
Client:  
Kuvaus Lähetyshuone 120 ja vastaanottohuone 119

Date of test: 12.12.11

Kohde Kalevankankaankoulu

Area S of separating element: 34,71 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 232,1 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 232,1 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	27,9
63	28,3
80	33,8
100	30,7
125	30,9
160	26,3
200	28,0
250	29,5
315	31,4
400	34,0
500	35,4
630	39,2
800	43,0
1 000	44,3
1 250	45,7
1 600	47,5
2 000	49,6
2 500	50,0
3 150	53,2
4 000	51,5
5 000	51,6



## Rating according to ISO 717-1

 $R'_{w}(C;C_{tr}) = 41 (-1; -5) \text{ dB}$ 

Evaluation based on field measurement results  
obtained  
in one-third-octave bands by an engineering

 $C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-3150} = -5 \text{ dB}$ 
 $C_{50-5000} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-5000} = -5 \text{ dB}$ 
 $C_{100-5000} = 0 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,100-5000} = -5 \text{ dB}$ 

Company:

**No. of test report:**

Date: 13.12.2011

Signature:

Risto-Matti Remes

## E120 – E119 välinen ääneneristävyys ja E119 jälkikaiunta-aika

<i>Frequency</i>	<i>Average</i>			#04 e119-e120			#05 e119-e120			#06 e119-e120		
<i>[Hz]</i>	<i>T avg</i>	<i>SD</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>S</i>	<i>N</i>
50	0,94	0,04	3	0,94		1	0,98		1	0,91		1
63	0,95	0,07	3	0,87		1	0,99		1	0,99		1
80	1,40	0,14	3	1,31		1	1,56		1	1,33		1
100	1,47	0,06	3	1,40		1	1,51		1	1,50		1
125	1,27	0,21	3	1,08		1	1,49		1	1,24		1
160	1,33	0,18	3	1,30		1	1,17		1	1,53		1
200	1,02	0,06	3	1,00		1	1,09		1	0,98		1
250	0,94	0,08	3	1,04		1	0,90		1	0,89		1
315	0,76	0,01	3	0,76		1	0,76		1	0,75		1
400	0,78	0,06	3	0,78		1	0,73		1	0,84		1
500	0,73	0,02	3	0,72		1	0,73		1	0,75		1
630	0,80	0,03	3	0,77		1	0,83		1	0,80		1
800	0,84	0,02	3	0,82		1	0,85		1	0,84		1
1 000	0,83	0,03	3	0,87		1	0,81		1	0,82		1
1 250	0,91	0,02	3	0,89		1	0,90		1	0,93		1
1 600	0,93	0,03	3	0,94		1	0,90		1	0,96		1
2 000	0,89	0,01	3	0,88		1	0,90		1	0,89		1
2 500	0,98	0,03	3	0,98		1	1,00		1	0,95		1
3 150	0,89	0,01	3	0,88		1	0,89		1	0,89		1
4 000	0,83	0,02	3	0,81		1	0,84		1	0,84		1
5 000	0,68	0,03	3	0,71		1	0,67		1	0,66		1

# Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

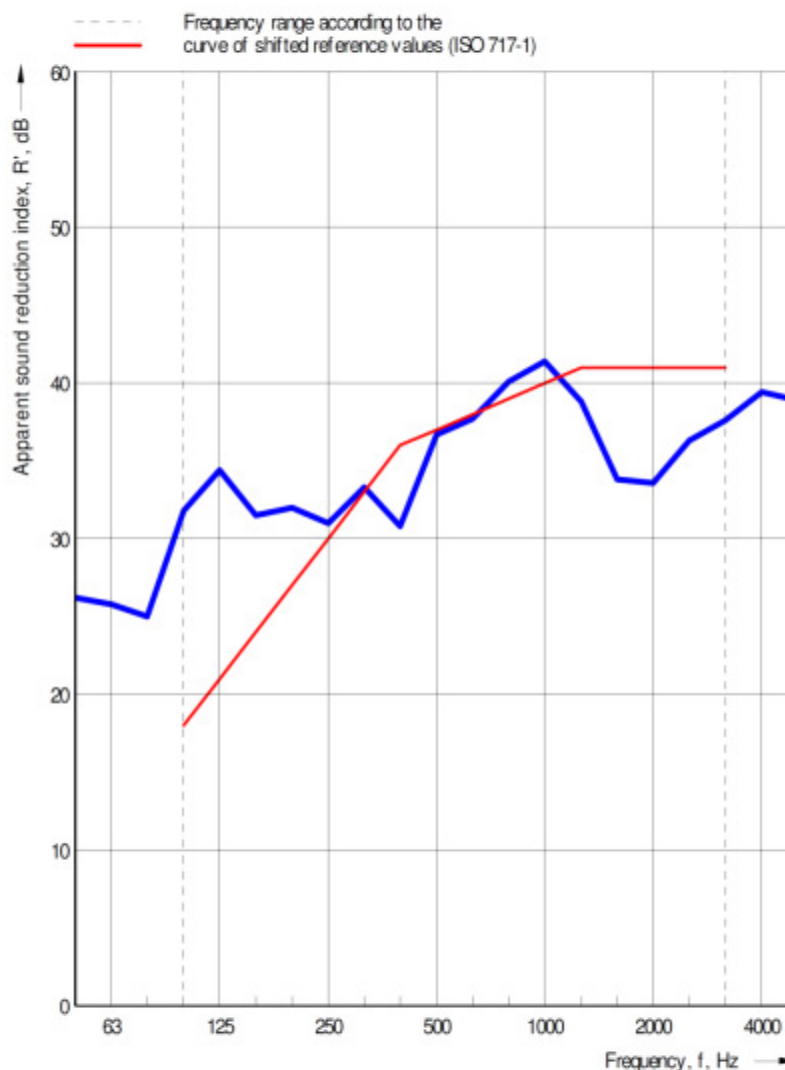
Client:  
 Kuvaus Lähetyshuone E-käytävä ja vastaanottohuone E119

Date of test: 13.12.11

Kohde Kalevankankaan koulu

Area S of separating element: 20,10 m<sup>2</sup>  
 Source room volume: 315 m<sup>3</sup>  
 Receiving room volume: 232,1 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	26,2
63	25,8
80	25,0
100	31,8
125	34,4
160	31,5
200	32,0
250	31,0
315	33,3
400	30,8
500	36,7
630	37,7
800	40,1
1 000	41,4
1 250	38,8
1 600	33,8
2 000	33,6
2 500	36,3
3 150	37,6
4 000	39,4
5 000	38,9



## Rating according to ISO 717-1

 $R'_{w}(C;C_{tr}) = 37 \text{ (-1;-2) dB}$ 

Evaluation based on field measurement results  
 obtained  
 in one-third-octave bands by an engineering

 $C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-3150} = -2 \text{ dB}$ 
 $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,50-5000} = -2 \text{ dB}$ 
 $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{tr,100-5000} = -2 \text{ dB}$ 

Company:

**No. of test report:**

Date: 14.12.2011

Signature:

Risto-Matti Remes

## E133 – E132 välinen ääneneristys ja E132 jälkikaiunta-aika

## Apparent sound reduction index according to ISO 140-4

Field measurements of airborne sound insulation between rooms

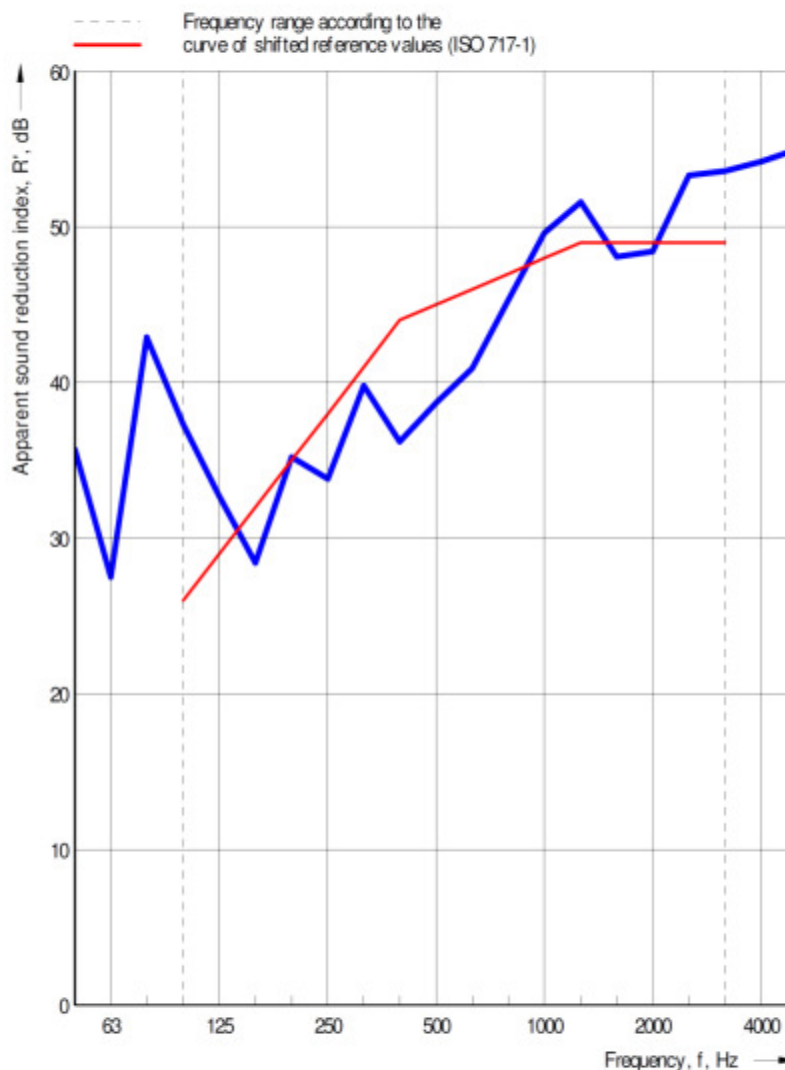
Client:  
Kuvas  
Lähetyskuone E133 ja vastaanottohuone E132

Date of test: 12.12.11

Kohde  
Kalevankankaan koulu

Area S of separating element: 16,64 m<sup>2</sup>  
Source room volume: 55,24 m<sup>3</sup>  
Receiving room volume: 56,6 m<sup>3</sup>

Frequency f [Hz]	R' 1/3 octave [dB]
50	35,7
63	27,5
80	42,9
100	37,3
125	32,7
160	28,4
200	35,2
250	33,8
315	39,8
400	36,2
500	38,7
630	40,9
800	45,3
1 000	49,6
1 250	51,6
1 600	48,1
2 000	48,4
2 500	53,3
3 150	53,6
4 000	54,2
5 000	55,0



## Rating according to ISO 717-1

 $R'_{w}(C;C_p) = 45 (-2; -5) \text{ dB}$ 

Evaluation based on field measurement results  
obtained  
in one-third-octave bands by an engineering

 $C_{50-3150} = -2 \text{ dB}$ 
 $C_{T,50-3150} = -5 \text{ dB}$ 
 $C_{50-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{T,50-5000} = -5 \text{ dB}$ 
 $C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$ 
 $C_{T,100-5000} = -5 \text{ dB}$ 

Company:

**No. of test report:**

Date: 14.12.2011

Signature:

Risto-Matti Remes

## E133 – E132 välinen ääneneristys ja E132 jälkikaiunta-aika

<b>Frequency</b>	<b>Average</b>			<b>#04 Tsto-e133</b>			<b>#05 Tsto-e133</b>			<b>#06 Tsto-e133</b>		
<b>[Hz]</b>	<b>T avg</b>	<b>SD</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>N</b>
50	0,57	0,12	3	0,44	?	1	0,67	?	1	0,60	?	1
63	0,66	0,05	3	0,70		1	0,68		1	0,60		1
80	0,60	0,07	3	0,65		1	0,63		1	0,52		1
100	0,74	0,18	3	0,90		1	0,77		1	0,54		1
125	0,68	0,13	3	0,79		1	0,72		1	0,53		1
160	0,63	0,04	3	0,63		1	0,67		1	0,59		1
200	0,69	0,08	3	0,60		1	0,74		1	0,73		1
250	0,69	0,06	3	0,64		1	0,67		1	0,76		1
315	0,92	0,11	3	0,81		1	0,91		1	1,03		1
400	0,72	0,02	3	0,73		1	0,70		1	0,73		1
500	0,72	0,05	3	0,77		1	0,68		1	0,72		1
630	0,64	0,04	3	0,61		1	0,62		1	0,69		1
800	0,59	0,04	3	0,63		1	0,58		1	0,56		1
1 000	0,59	0,03	3	0,58		1	0,56		1	0,62		1
1 250	0,65	0,03	3	0,67		1	0,61		1	0,66		1
1 600	0,60	0,04	3	0,59		1	0,57		1	0,64		1
2 000	0,64	0,07	3	0,71		1	0,57		1	0,64		1
2 500	0,63	0,02	3	0,65		1	0,62		1	0,63		1
3 150	0,62	0,02	3	0,60		1	0,61		1	0,64		1
4 000	0,59	0,02	3	0,60		1	0,57		1	0,60		1
5 000	0,52	0,03	3	0,55		1	0,51		1	0,50		1